

Acest al II-lea volum al Manualului inginerului de mine cuprinde următoarele secțiuni:

X. Prospectiunea (geologică, geofizică, geochimică); XI. Explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile (prin lucrări miniere, foraje și combinat); XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile; XIII. Carotajul geofizic; XIV. Evaluarea rezervelor zăcămintelor de substanțe minerale utile; XV. Topografie minieră și fotogrammetrie terestră; XVI. Mecanica rocilor.

Se adresează cadrelor tehnice (ingineri, geologi, subingineri tehnicieni, maiștri) care activează în domeniile cercetării geologice (prospecțiuni și exploatare), exploatare și preparării substanțelor minerale utile solide, constituind totodată un material ajutător pentru studenții facultăților de mine și geologie.

MANUALUL INGINERULUI DE MINE



Coordonator :

Dr. docent ing. ARON POPA
Profesor universitar emerit



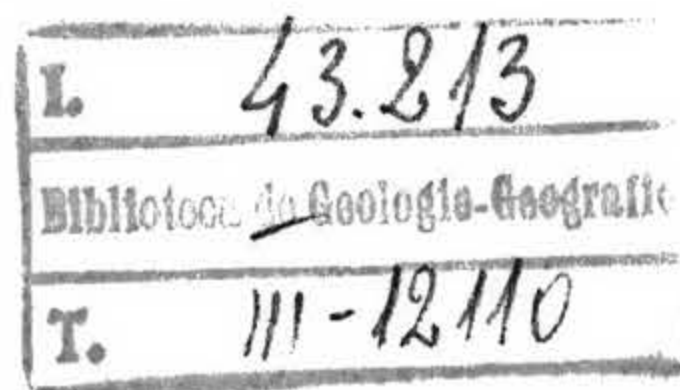
173966
B.C.U. - IASI



EDITURA TEHNICĂ
București — 1985

Colectivul de autori:

Prof. dr. docent, ing. **RADU BOTEZATU**
 Membru corespondent al Academiei R.S. România
 Prof. dr. docent, ing. **ARON POPA**
 Prof. dr. docent **GRATIAN CIOFLICA**
 Prof. dr. ing. **NICOLAE DIMA**
 Conf. dr. ing. **CORNEL HIRIAN**
 Conf. dr. ing. **GHEORGHE ONCIOIU**
 Șef lucrări, dr. ing. **AURELIAN NEGUȚ**
 Șef lucrări, dr. ing. **IONIȚĂ PĂDURE**
 Șef lucrări, dr. ing. **ADRIAN TODORESCU**
 Șef lucrări ing. **STANCA NICULESCU**
 Lector dr. **OVIDIU DRAGASTAN**
 Lector dr. **IOAN MĂLDĂRESCU**
 Lector **IOSIF DRĂGHICI**
 Dr. ing. **IULIU SILAȘ**
 Ing. **VIOREL VIERESCU**
 Ing. **FILOMENOS SAVIN**
 Ing. **VIOREL BRÂNDA**



Redactor: ing. **MARIANA CHEPTEA**
 Tehnoredactor: **ELLY GORUN**
 Coperta: **ȘTEFAN PĂRĂU**

Bun de tipar: 6.09.1985 Coli de tipar: 48,5 C.Z.: 622(039)



I. P. Informația str. Brezoianu nr. 23-25

Cuprins

X PROSPECȚIUNEA	
1. <i>Prospecțiunea geologică</i>	13
1.1. Premise geologice fundamentale	13
1.1.1. Premise structurale	14
1.1.2. Premise magmatice	17
1.1.3. Premise lito-stratigrafice	22
1.1.4. Premise paleogeografice	23
1.1.5. Premise metamorfice	25
1.1.6. Premise geochimice	26
1.2. Indicatori în prospecțiunea geologică	29
1.2.1. Indicatori naturali	29
1.2.2. Indicatori proveniți din alte surse	36
1.3. Metode geologice de prospecțiune	40
1.3.1. Prospecțiunea prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale	40
1.3.2. Prospecțiunea prin cartare geologică pe baza fragmentelor cu minerale utile	42
1.3.3. Prospecțiunea prin cartare geologică pe baza concentratelor de minerale utile	43
2. <i>Prospecțiunea geofizică</i>	46
2.1. Posibilități și limitări fizice, geologice și economice ale utilizării prospecțiunilor geofizice	49
2.2. Complexul de metode geofizice specifice problemelor de geologie minieră	59
2.2.1. Prospecțiunea geomagnetică	59
2.2.2. Prospecțiunea gravimetrică	61
2.2.3. Prospecțiunea electrometrică	63
2.2.4. Prospecțiunea radiometrică	68
2.2.5. Prospecțiunea seismometrică	68
2.2.6. Prospecțiunea geotermică	71
2.2.7. Teledetecția	72
2.2.8. Cercetări geofizice în subteran	73
2.3. Interpretarea geologică a informațiilor geofizice condiționate de acumulările de substanțe minerale solide	75
2.3.1. Mineralizații de metale feroase	76
2.3.2. Mineralizații de metale neferoase	80
2.3.3. Mineralizații auro-argentifere	86
2.3.4. Mineralizații de elemente radioactive, rare și disperse	88
2.3.5. Acumulări de substanțe nemetalifere și roci utile	90
2.3.6. Zăcămintele de cărbuni și roci combustibile	92
2.3.7. Zăcămintele de sare și săruri de potasiu și magneziu	93
3. <i>Prospecțiunea geochimică</i>	95
3.1. Prospecțiunea litogeochemică	96
3.2. Prospecțiunea pedogeochemică	97
3.3. Prospecțiunea hidroggeochemică	100
3.4. Prospecțiunea atmogeochemică	101
3.5. Prospecțiunea biogeochemică	102
XI. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE	
1. <i>Obiectivele și clasificarea explorării întocmirea proiectelor lucrărilor de explorare</i>	114
1.1. Obiectivele explorării	114
1.2. Clasificarea lucrărilor de explorare	114
1.3. Întocmirea proiectelor lucrărilor de explorare	117
2. <i>Explorarea prin lucrări miniere</i>	118
2.1. Criterii de proiectare a lucrărilor miniere de explorare	118
2.2. Tipuri și secțiuni de lucrări miniere de explorare	119
2.2.1. Șanțuri și tranșee de explorare	122
2.2.2. Puțuri de mină (șurfuri)	129
2.2.3. Puțuri de explorare	137
2.2.4. Galerii de explorare	141
2.2.5. Plane înclinate de explorare	159
2.2.6. Suitori și coboritori de explorare	161
3. <i>Explorarea prin foraje</i>	163
3.1. Condiții de aplicare a forajului în explorarea zăcămintelor	163
3.2. Date generale asupra forajului	165
3.3. Săparea găurii de sondă. Sape și carotiere	166
3.3.1. Sape folosite în forajul cu sondeze	166
3.3.2. Carotiere folosite în forajul cu sondeze	173
3.3.3. Coroane sau capete de carotieră	177
3.4. Spălarea găurii de sondă. Fluidul de foraj	190

3.4.1. Rolul și proprietățile fluidului de foraj	190	4.1.6. Explorarea zăcămintelor de metale rare	278
3.4.2. Prepararea noroiului de foraj	196	4.1.6.1. Explorarea zăcămintelor de metale necesare industriei curente	278
3.4.3. Curățirea noroiului de foraj, stabilirea debitului și presiunii de circulație	199	4.1.6.2. Explorarea zăcămintelor de metale rare cu utilizări speciale	281
3.5. Operații de manevră și material tubular	200	4.1.6.3. Explorarea zăcămintelor de metale radioactive	283
3.5.1. Prăjini de foraj	200	4.1.6.4. Explorarea zăcămintelor de metale din grupa paltinei	283
3.5.2. Scule și dispozitive de manevră pentru prăjini și burlane	210	4.2. Explorarea zăcămintelor de cărbuni	283
3.6. Tubarea și cimentarea găurilor de sondă	220	4.2.1. Clasificarea zăcămintelor de cărbuni din punctul de vedere al explorării	284
3.6.1. Tubarea	220	4.2.2. Caracteristicile generale ale explorării zăcămintelor de cărbuni	284
3.6.2. Cimentarea	224	4.2.3. Fazele și specificul explorării zăcămintelor de cărbuni	285
3.7. Dificultăți și accidente în forajul cu sondeze	226	4.2.4. Exemple de explorare a zăcămintelor de cărbuni	286
3.7.1. Devierea găurilor de sondă	226	4.3. Explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile nemetalifere și de roci utile	289
3.7.2. Pierderi de circulație	229	4.3.1. Explorarea zăcămintelor de gips și anhidrit	290
3.7.3. Accidente de foraj	230	4.3.2. Explorarea zăcămintelor de sare gemă și de săruri de potasiu	291
3.8. Instalații de foraj — sondeze mecanice	238	4.3.3. Explorarea zăcămintelor de fosforite	293
3.8.1. Instalații pentru foraj de explorare fabricate în România	240	4.3.4. Explorarea zăcămintelor de calcită, celestină, baritină și fluorină	293
3.8.1.1. Instalația de foraj SG-650 M	240	4.3.5. Explorarea zăcămintelor de feldspat, mică și cuarț	294
3.8.1.2. Instalația de foraj SG-150	244	4.3.6. Explorarea zăcămintelor de serpentină, talc și magnezit	295
3.8.1.3. Instalația de foraj FG-8	246	4.3.7. Explorarea zăcămintelor de disten, andaluzit și sillimanit	296
4.8.1.4. Instalația de foraj FG-5	249	4.3.8. Explorarea zăcămintelor de azbest și corindon	296
3.8.1.5. Instalația de foraj FG-1,2 M	252	4.3.9. Explorarea rocilor carbonatice (calcare, dolomite, magnezite)	297
3.8.1.6. Instalația de foraj FG-0,63 D	254	4.3.10. Explorarea silicaților aluminosi	298
3.8.2. Alte tipuri de instalații de foraj	256	4.3.11. Explorarea marnelor	299
3.8.2.1. Instalația de foraj SBA-500	256	4.3.12. Explorarea rocilor silicioase	299
3.8.2.2. Instalația de foraj URB-3AM	258	4.3.13. Explorarea nisipurilor și pietrișurilor (agregatelor)	300
3.8.2.3. Instalația de foraj AVB-TM	259	4.3.14. Explorarea rocilor de construcții	301
3.8.2.4. Instalația de foraj BSK	260		
3.8.2.5. Instalația de foraj ZIF-1200	261		
3.8.2.6. Instalația de foraj GP-1 pentru subteran	262		
3.8.2.7. Instalația de foraj DIA-MEC-250	262		
3.8.2.8. Instalația de foraj hongyer 34	264		
3.0. Instalații de suprafață și anexe	264		
3.10. Indicatori tehnico-economici în activitatea de foraj	267		
3.11. Documentarea geologică a forajelor de explorare	269		
4. Explorarea zăcămintelor după natura substanței minerale utile	272		
4.1. Explorarea zăcămintelor de minereuri	272		
4.1.1. Explorarea zăcămintelor de fier și de mangan	273		
4.1.2. Explorarea zăcămintelor de plumb și zinc	274		
4.1.3. Explorarea zăcămintelor de cupru	275		
4.1.4. Explorarea zăcămintelor de aur și argint	276		
4.1.5. Explorarea zăcămintelor de pirită și de aluminiu	277		

XII. PROBAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

1. Principii de bază	304
1.1. Condițiile unei probări corecte a zăcămintelor de substanțe minerale utile	304
1.1.1. Obiectivitatea și reprezentativitatea probării	305
1.1.2. Operativitatea și productivitatea probării	306
2. Tipurile principale de probare utilizate în lucrările de explorare	306
2.1. Probarea pentru determinarea caracteristicilor mineralogice (probarea mineralogică)	307

2.2. Probarea pentru determinarea caracteristicilor chimice	310	2.2. Mineralizații de metale neferoase și auro-argentifere	373
2.3. Probarea pentru determinarea caracteristicilor tehnice	319	2.3. Mineralizații de elemente radioactive, rare și disperse	374
2.4. Probarea pentru determinarea caracteristicilor tehnologice	321	2.4. Acumulări de substanțe nemetalifere și roci utile	376
3. Metodica probării zăcămintelor de substanțe minerale utile explorate cu lucrări miniere	324	2.5. Cărbuni și roci combustibile	379
3.1. Probarea în șanțuri și tranșee de explorare	324	2.5.1. Cărbuni	379
3.2. Probarea în puțuri de mină, puțuri de explorare, suitori și coboritori	327	2.5.2. Șisturi bituminoase	386
3.3. Probarea în galerii și plane înclinate	331		
4. Metodica probării zăcămintelor de substanțe minerale utile explorate cu foraje	337		
4.1. Probarea în cazul explorării prin foraje cu carotaj mecanic	338		
4.2. Probarea în cazul folosirii în explorare a forajului mecanic percutant	343		
4.3. Probarea în cazul folosirii forajului manual, semimecanic, rotativ și rotativ-percutant în explorarea geologică	344		
5. Prelucrarea probelor geologice pentru determinarea conținutului în componente utile și dăunătoare	345		
		XIV. EVALUAREA REZERVELOR ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE	
		1. Principii generale	390
		2. Clasificarea rezervelor geologice	391
		2.1. Clasificarea rezervelor geologice după gradul de cunoaștere	391
		2.2. Clasificarea rezervelor geologice după gradul de pregătire	394
		2.3. Clasificarea rezervelor geologice după posibilitățile de valorificare	394
		2.3.1. Condiții industriale ale zăcămintelor	394
		3. Parametrii de calcul al rezervelor	396
		3.1. Parametrii pentru calculul cantitativ al rezervelor	396
		3.2. Stabilirea caracteristicilor calitative ale rezervelor	398
		3.3. Stabilirea condițiilor de zăcămint	403
		4. Metode de calcul al rezervelor	405
		4.1. Metoda blocurilor geologice	406
		4.2. Metoda panourilor sau blocurilor de exploatare	409
		4.3. Metoda secțiunilor	415
		4.4. Metoda poligoanelor	421
		4.5. Metoda triunghiurilor	422
		5. Metode statistice-matematice și geostatistice în estimarea parametrilor de calcul al rezervelor	424
		5.1. Metode statistice-matematice	424
		5.1.1. Stabilirea valorii medii a parametrilor de calcul ținând seama de legea de distribuție statistică a acestora	424
		5.1.2. Utilizarea analizei de corelație în estimarea conținutului rezervelor	426
		5.2. Metoda geostatistică	427
		5.2.1. Funcțiile semivariogramă și covariogramă	428
		5.2.2. Variabile regionalizate staționare. Principalele caracteristici ale mineralizației puse în evidență de semivariogramă	428
		5.2.3. Calculul semivariogramei experimentale	430
		5.2.4. Modelarea semivariogramei experimentale	432
		5.2.4.1. Mineralizații izotrope	433
		5.2.4.2. Mineralizații anizotrope	436
		5.2.5. Metoda Krige. Determinarea estimatorului optim și a varianței erorii de estimare	438
		XIII. CAROTAJUL GEOFIZIC	
		1. Principiile de bază ale metodelor de carotaj geofizic aplicate în geologia minieră	351
		1.1. Carotajul de rezistivitate aparentă	351
		1.1.1. Carotajul obișnuit (standard)	352
		1.1.2. Carotajul cu curenți focalizați	353
		1.1.3. Carotajul inductiv	353
		1.1.4. Metoda carotajului de curent	354
		1.1.5. Carotajul electric cu microdispozitive sau microcarotajul	355
		1.1.6. Electrometrie de sondă în curent continuu	355
		1.2. Carotajul potențialelor naturale sau spontane	357
		1.3. Carotajul potențialelor provocate	358
		1.4. Carotajul radioactiv	358
		1.4.1. Carotajul radiației gama naturale	358
		1.4.2. Carotajul radiației gama dispersate	359
		1.4.3. Carotajul neutron-gama	360
		1.4.4. Carotajul neutron-neutronic	361
		1.4.5. Carotajul fotoneutronic	362
		1.4.6. Carotajul activării neutronice	362
		1.4.7. Carotajul fluorescenței X	363
		1.4.8. Spectrometria radiațiilor gama în carotaj	364
		1.5. Carotajul acustic	364
		1.6. Carotajul magnetic	365
		1.7. Cavernometria	366
		2. Aplicarea carotajului geofizic pentru identificarea și evaluarea zăcămintelor de substanțe minerale utile solide	367
		2.1. Mineralizații de metale feroase	367

5.2.6. Intervalul de încredere al cantității și calității rezervelor. Gradul de precizie al valorilor estimate	439
XV. TOPOGRAFIE MINIERĂ ȘI FOTOGRAMMETRIE	
1. Teoria erorilor de măsurare	445
1.1. Clasificarea măsurătorilor	445
1.2. Măsurători directe de aceeași precizie	446
1.3. Măsurători directe de precizii diferite	447
1.4. Măsurători indirecte de aceeași precizie	448
1.5. Măsurători indirecte de precizii diferite	452
1.6. Măsurători condiționate de aceeași precizie	452
1.7. Măsurători condiționate de precizii diferite	453
2. Măsurarea mărimilor topografice	454
1.2. Măsurarea unghiurilor	454
2.1.1. Instrumente de măsurarea unghiurilor	454
2.1.2. Metode de măsurare a unghiurilor orizontale	455
2.1.3. Măsurarea unghiurilor verticale	456
2.2. Măsurarea directă a distanțelor	456
2.2.1. Instrumente pentru măsurarea directă a distanțelor	456
2.2.2. Măsurarea directă a lungimilor cu panglica	457
2.2.3. Corecții aplicate lungimilor măsurate cu benzi de oțel	458
2.3. Măsurarea indirectă a distanțelor	459
2.3.1. Metoda optică	459
2.3.2. Măsurarea electrooptică și electromagnetică a distanțelor	460
2.4. Instrumente de măsurare directă a înălțimilor	461
2.4.1. Instrumente de nivelment geometric cu lunetă	461
2.4.2. Instrumente de nivelment cu compensator	462
3. Lucrări topografice la suprafață	462
3.1. Elemente de geodezie și cartografie	462
3.1.1. Forma și dimensiunile Pământului	462
3.1.2. Suprafețe de referință	463
3.1.3. Coordonate plane Gauss-Krüger	464
3.1.4. Coordonate plane stereografice	466
3.2. Triangulația	467
3.2.1. Rețeaua triangulației de stat	467
3.2.2. Realizarea rețelei triangulației de stat	467
3.2.3. Importanța și caracterul rețelei de triangulație	468
3.2.4. Verificarea rețelelor de triangulație	469
3.2.5. Dezvoltarea rețelelor de triangulație	472
3.3. Trilaterația	476
3.3.1. Compensarea laturilor în rețelele de trilaterație	476
3.3.2. Calculul coordonatelor în rețelele de trilaterație	478
3.3.3. Dezvoltarea rețelelor de trilaterație	479
3.4. Poligonometria	480
3.4.1. Realizarea traseelor și rețelelor poligonometrice	480
3.4.2. Condiții de aplicare. Avantaje și dezavantaje	481
3.4.3. Rezolvarea traseelor și rețelelor poligonometrice	481
3.5. Nivelment	483
3.5.1. Suprafață de nivel zero. Suprafețe de nivel. Altitudini	483
3.5.2. Corecții de nivelment	484
3.5.3. Felurile nivelmentului	484
4. Lucrări de topografie minieră	485
4.1. Planimetrie subterană	485
4.1.1. Transmiteri de coordonate și orientări în subteran	485
4.1.1.1. Legătura pe galeria de coastă	486
4.1.1.2. Legătura pe două puțuri verticale de mină	487
4.1.1.3. Legătura pe un singur puț vertical de mină	488
4.1.2. Proiectarea coordonatelor și orientării pe lucrări miniere verticale	492
4.1.2.1. Metoda mecanică de proiectare a coordonatelor	493
4.1.2.2. Metoda giroscopică de determinare a orientării	495
4.1.3. Drumuiri planimetrice subterane	497
4.1.3.1. Poligonația cu două capete	497
4.1.3.2. Poligonația cu cap de sprijin și un punct de închidere	500
4.1.3.3. Poligonația minieră	500
4.1.3.4. Poligonația flotantă	503
4.1.3.5. Rețea planimetrică nodală	506
4.1.3.6. Rețea planimetrică acolată	508
4.2. Nivelment subteran	512
4.2.1. Transmiterea cotelor în subteran	512
4.2.2. Metode de nivelment subteran	515
4.2.3. Trasee nivelitice subterane	517
4.3. Ridicarea de detalii subterane	523
4.3.1. Ridicarea de detalii în lucrări miniere orizontale	523
4.3.2. Ridicarea de detalii în lucrări miniere verticale	524
4.3.3. Recepția și evidența lucrărilor miniere în săpare	527
4.3.4. Recepția și evidența producției realizate în abataje	528
4.3.5. Evaluarea producției realizate în cariere	530
4.4. Străpungeri miniere	532
4.4.1. Străpungera între două puncte topografice	532
4.4.2. Racordarea aliniamentelor	535
4.4.3. Probleme de topografie minieră	538
4.4.3.1. Cea mai scurtă galerie de la un punct la o altă galerie	539
4.4.3.2. Intersecția dintre o galerie și un zăcămint	540
4.4.3.3. Intersecția dintre o falie și un zăcămint	542
4.4.3.4. Lucrare minieră de legătură dintre două galerii cunoscute	544

4.5. Studiul comportării suprafeței sub influența spațiului subteran exploatat	545	1.1.2. Analiza stării de tensiune sau de deformare pe cale grafică	600
4.5.1. Constituirea stațiilor topografice de urmărire	545	1.2. Elemente de teoria tensiunilor și a deformărilor în medii elastice	600
4.5.2. Efectuarea măsurătorilor	547	1.3. Plasticitatea. Elemente de teoria tensiunilor și a deformărilor în medii plastice. Condiții de plasticitate	601
4.5.3. Interpretarea rezultatelor măsurătorilor	548	1.4. Mecanismul de rezistență și fracturare a rocilor și substanțelor minerale utile. Ipoteze de rupere	603
5. Fotogrammetrie terestră	550	2. Metode experimentale pentru caracterizarea rocilor și substanțelor minerale utile	611
5.1. Definiția și scopul fotogrammetriei terestre	550	2.1. Recoltarea și prelevarea probelor de roci	611
5.2. Baza geometrică a fotogramelor	551	2.2. Caracteristici fizice	612
5.2.1. Fotograma ca proiecție centrală	551	2.3. Caracteristici mecanice	626
5.2.2. Elementele proiecției centrale	552	2.4. Caracteristici elastice	632
5.2.3. Sisteme de coordonate utilizate în fotogrammetrie	553	2.5. Caracteristici reologice	640
5.2.4. Elementele de orientare a fotogramelor	554	3. Stabilitatea excavațiilor subterane	644
5.2.5. Relațiile analitice ale fotogrammetriei terestre	555	3.1. Starea de tensiune a masivului de roci nederanjate prin excavații	644
5.3. Vederea stereoscopică	557	3.1.1. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament elastic	644
5.3.1. Vederea bioculară naturală	557	3.1.2. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament elastic	646
5.3.2. Vederea stereoscopică artificială	558	3.1.3. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament plastic	647
5.4. Aparatura de fotografiere	561	3.1.4. Starea de tensiune într-un masiv cu comportament neelastic	649
5.5. Metodele fotogrammetriei terestre	568	3.1.5. Starea de tensiune de origine tectonică	649
5.5.1. Fotogrammetria cu o imagine	568	3.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul excavațiilor subterane	650
5.5.2. Fotogrammetria cu două imagini	571	3.2.1. Studii și cercetări teoretice clasice referitoare la repartizarea tensiunilor	651
5.5.3. Fotogrammetria paralactică cu baza timp	576	3.2.1.1. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii elastice omogene și izotrope	651
5.6. Aparatură de restituție folosită în fotogrammetria terestră	577	3.2.1.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii plastice sau elastice	656
5.6.1. Aparatură de restituție analogică	577	3.2.2. Studii și cercetări numerice referitoare la repartizarea tensiunilor (Metoda elementelor finite)	660
5.6.2. Aparatură de restituție numerică	579	3.2.3. Studii și cercetări efectuate prin metoda optică	664
5.6.3. Aparatură de restituție analitică	579	3.2.4. Studiul tensiunilor și a repartizării acestora prin măsurători directe	665
5.6.4. Aparatură de restituție fotografică	580	3.3. Presiunea rocilor înconjurătoare asupra excavațiilor miniere subterane	668
5.7. Erori în determinarea coordonatelor punctelor spațiale	580	3.3.1. Presiunea rocilor asupra lucrărilor miniere orizontale	670
5.7.1. Determinarea erorilor	580	3.3.1.1. Presiunea din tavan	670
5.7.2. Corectarea erorilor	581	3.3.1.2. Presiunea laterală	686
5.7.3. Trăncăluarea coordonatelor spațiale XY în sistemul geodezic Y, X	581	3.3.1.3. Presiunea din vatră	686
5.8. Lucrări de teren în fotogrammetria terestră	583	3.3.2. Presiunea rocilor asupra lucrărilor miniere verticale	688
5.8.1. Stabilirea punctelor de stație și a bazelor fotogrammetrice	584	3.3.2.1. Ipoteza forțelor	688
5.8.2. Reperajul fotogrammetric	585	3.3.2.2. Ipoteza deformărilor	692
5.8.3. Legarea punctelor de capăt ale bazei fotogrammetrice și a punctelor de control la rețeaua geodezică	586	3.3.2.3. Presiunea neuniformă asupra lucrărilor miniere verticale	695
5.9. Rezolvarea unor probleme topografice prin metode fotogrammetrice	587		
5.9.1. Măsurarea volumelor excavate în cariere	587		
5.9.2. Măsurarea depozitelor de steril	591		
5.9.3. Măsurarea albiilor de scufundare	592		
5.9.4. Măsurători în subteran	592		
XVI. MECANICA ROCILOR			
1. Bazele teoretice ale mecanicii rocilor	596		
1.1. Definiții și concepte de bază	596		
1.1.1. Analiza stării de tensiune sau de deformare pe cale analitică	597		

3.3.3. Presiunea rocilor asupra abata- jelor	698	5.2.1. Deschiderea camerelor la tavan	736
3.4. Studiul manifestării presiunii miniere prin măsurători directe	703	5.2.2. Calculul lungimii unei camere	738
3.5. Studiul manifestării presiunii prin metoda modelării cu materiale echiva- lente	705	5.2.3. Calculul înălțimii unei camere	739
4. Stabilitatea taluzelor	709	5.2.4. Calculul dimensiunilor planșeului dintre camere	739
4.1. Considerații privind condițiile și fac- torii care determină stabilitatea taluze- lelor	709	6. Fenomenele de manifestare dinamică a pre- siunii miniere	741
4.2. Forma suprafețelor de rupere și pro- cedee de calcul ale acestora	718	6.1. Exploziile de rocă și substanță mine- rală utilă sau șocurile miniere	741
4.3. Calculul stabilității taluzelor	718	6.1.1. Exploziile de rocă produse în lu- crări miniere singulare	747
4.3.1. Stabilitatea taluzelor executate în masive de rocă elastică	719	6.1.2. Exploziile de rocă produse în lu- crări miniere multiple și în aba- taje	747
4.3.2. Stabilitatea taluzelor executate în masive de rocă slab coezivă și cu coeziune mică	720	6.2. Erupțiile de cărbune și gaz sau rocă- apă și gaz (viituri)	749
4.3.3. Stabilitatea taluzelor afectate de prezența pinzelor acrifere în ma- sivul de rocă în care sînt execu- tate	722	7. Influența exploatărilor subterane asupra te- renului de la suprafață	751
4.3.4. Metode aproximative	723	7.1. Deformarea suprafeței terenului sub influența exploatării subterane	751
4.4. Măsuri de prevenire și control în cazul executării taluzelor	726	7.1.1. Caracterul deplasării și defor- mării masivului de roci și a su- prafeței terenurilor	751
5. Proiectarea și dimensionarea pilierilor de siguranță și planșelor	727	7.1.2. Factorii care influențează pro- cesul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor	753
5.1. Proiectarea și dimensionarea pilierilor de siguranță	727	7.1.3. Parametrii și elementele de de- plasare și deformare a suprafeței terenurilor	754
5.1.1. Considerații generale asupra cal- culului dimensiunilor pilierilor de siguranță	727	7.1.4. Stadiile de dezvoltare a albiilor de scufundare	757
5.1.2. Procedee de calcul și verificarea dimensiunilor pilierilor de sigu- ranță	729	7.2. Metode de studiu a deplasărilor și defor- mărilor suprafeței terenurilor	758
5.1.3. Calculul dimensiunilor pilierilor de susținere la exploatarea sării prin dizolvare cinetică	734	7.2.1. Dependența matematică între curbele de deplasare și deformare	759
5.2. Proiectarea și dimensionarea camerelor de exploatare și grosimii planșelor din- tre etaje	736	7.2.2. Evoluția metodelor de calcul a deplasărilor și deformărilor su- prafeței terenurilor	760
		7.3. Metode matematico-analitice de calcul a parametrilor scufundării	761
		7.3.1. Strate orizontale și cu încli- nare mică	762

X. PROSPECTIUNEA

Prof. dr. doc. ing. RADU BOTEZATU
Membru corespondent al Academiei R. S. România

Prof. dr. doc. GRAȚIAN CIOFLICA
Leector IOSIF DRĂGHICI
Leector dr. IOAN MĂLDĂRESCU
Leector dr. OVIDIU DRAGASTAN

Prospecțiunea cuprinde ansamblul operațiilor și lucrărilor de cercetare geologică, geofizică, geochimică, geobotanică, sau cu lucrări miniere și foraje, executate în scopul evidențierii unor concentrații de substanțe minerale utile în anumite structuri geologice.

Prospectarea sistematică a unei regiuni se face trecându-se succesiv de la cercetări cu caracter general, ce privesc suprafețe mari, la cercetări de detaliu, localizate în zone favorabile acumulărilor de substanțe minerale utile. În funcție de gradul de aprofundare a cercetării unei regiuni, se pot distinge:

a) *prospecțiuni preliminare* (strategice), care se efectuează la scară mică, în vederea descifrării în linii generale a structurii geologice a regiunii și delimitării, în cadrul acesteia, a zonelor cu diferite grade de perspectivă pentru identificarea anumitor concentrații de substanțe minerale utile;

b) *prospecțiuni de detaliu* (tactice), care se execută la scară mare și au ca obiectiv descifrarea amănunțită a structurii geologice și cunoașterea, cu precizia necesară începerii explorării, a condițiilor geologice în care se găsesc concentrațiile de substanțe minerale utile identificate. Dacă activitatea de prospecțiune urmărește o astfel de succesiune, înseamnă că s-au asigurat condițiile unor cercetări sistematice, care sporesc eficiența lucrărilor geologice, deoarece necesitatea trecerii la faza superioară, prospecțiunea de detaliu, este justificată de rezultatele fazei precedente, a prospecțiunii preliminare. Uneori, însă, în activitatea de prospecțiune apar situații în care aceste două faze de cercetare nu mai pot fi urmărite, ca succesiune, cu multă rigurozitate; este cazul, de exemplu, al identificării unor concentrații de substanțe minerale utile, în faza lucrărilor de prospecțiune strategică, care impune trecerea direct la explorare, eliminând astfel faza lucrărilor de prospecțiune de detaliu.

Se disting, în funcție de metodele de investigație utilizate, următoarele tipuri de prospecțiuni: *geologice, geofizice, geochimice, geobotanice, cu lucrări miniere și foraje.*

Lucrările de prospecțiune au la bază harta geologică a regiunii și ansamblul de date geologice, uneori și miniere, obținute prin cercetările anterioare, care oferă posibilitatea conturării perimetrului de prospectat și reprezintă, în același timp, o sursă pentru premisele geologice și indicatorii de prospecțiune. Metodele de prospecțiune sînt selectate în funcție de particularitățile structurii geologice, de condițiile geomorfologice și de natura substanței minerale utile ce urmează a fi prospectată. Eficiența lucrărilor de prospecțiune este mai ridicată în urma combinării variatelor metode de prospecțiune, și anume a acelor considerate a fi mai adecvate condițiilor geologice în care se află concentrațiile de substanțe minerale utile. Combinarea într-o regiune a metodelor de prospecțiune se poate realiza astfel:

a) prin aplicarea succesivă a diferitelor metode de prospecțiune, ceea ce presupune ca fiecare metodă utilizată să aibă la bază rezultatele metodelor precedente; este un mod de execuție rațional, nefiind legat de riscuri prea mari în obținerea rezultatelor, dar rezolvarea obiectivelor se face într-un timp mai îndelungat;

b) prin suprapunerea în timp, cel puțin pe un anumit interval, a diferitelor metode de prospecțiune; o astfel de complexare a lucrărilor de prospecțiune reduce durata execuției, dar oferă și riscul cercetărilor, uneori destul de costisitoare și cu rezultate negative.

Indiferent de metodele de prospecțiune folosite și de gradul de aprofundare al investigațiilor, activitatea de prospecțiune presupune trei etape:

a) *pregătirea pentru teren*, cînd se întocmește documentația geologică și se elaborează proiectul tehnico-geologic;

b) *lucrul pe teren*, cînd se adună ansamblul de informații necesare descifrării structurii geologice a regiunii prospectate și conturării perspectivelor sale din punct de vedere economic;

c) *prelucrarea informațiilor*, cînd se precizează, pe baza investigațiilor de laborator și a datelor de teren, elementele care justifică trecerea la o fază superioară de cercetare sau întreruperea activității de prospecțiune în regiune.

1. PROSPECȚIUNEA GEOLOGICĂ

Prospecțiunea geologică cuprinde un ansamblu de investigații, care au ca element comun cartarea geologică efectuată în scopul descifrării structurii geologice a unei regiuni și a condițiilor geologice favorabile unor concentrații de substanțe minerale utile.

Investigațiile se execută în deschideri naturale și artificiale, pe fragmente de minereu și pe concentrate de minerale grele din aureole de dispersie mecanică, generate de corpurile de substanțe minerale utile. Rezultatele obținute se exprimă pe hărți topografice, conducînd în final la elaborarea hărților geologice, care oferă elementele de bază pentru interpretarea structurii geologice și stabilirea potențialului său economic.

Prospecțiunea geologică are o eficiență sporită în regiunile cu numeroase deschideri naturale, unde corpurile de substanțe minerale utile au generat, sub acțiunea proceselor de alterare supergenă, aureole de dispersie mecanică. În regiunile în care corpurile de substanțe minerale utile sînt localizate în structuri geologice ascunse, situate la diferite adîncimi în litosferă, prospecțiunea geologică se combină cu prospecțiunea geofizică, uneori cu prospecțiunea geochimică; lucrările miniere și forajele intervin, desigur, cu pondere diferită, în toate condițiile geologice.

1.1. PREMISE GEOLOGICE FUNDAMENTALE

Premisele geologice fundamentale cuprind ansamblul de elemente (structurale, magmatice, lito-stratigrafice, paleogeografice, metamorfice, geochimice) care controlează localizarea și conservarea concentrațiilor de substanțe minerale utile în structurile geologice. Prin natura lor, premisele geologice oferă baza teoretică pentru delimitarea arealelor cu diferite grade de perspectivă și pentru orientarea lucrărilor de prospecțiune

1.1.1. PREMISE STRUCTURALE

Premisele structurale au o importanță deosebită în conturarea zonelor în care structurile geologice sînt posibil purtătoare de mineralizații, îndeosebi de natură hidrotermală, sedimentară și metamorfică. Rolul acestora este determinant la scară locală și regională, deoarece elementele structurale controlează distribuția în spațiu și aspectele morfologice ale corpurilor de minereu.

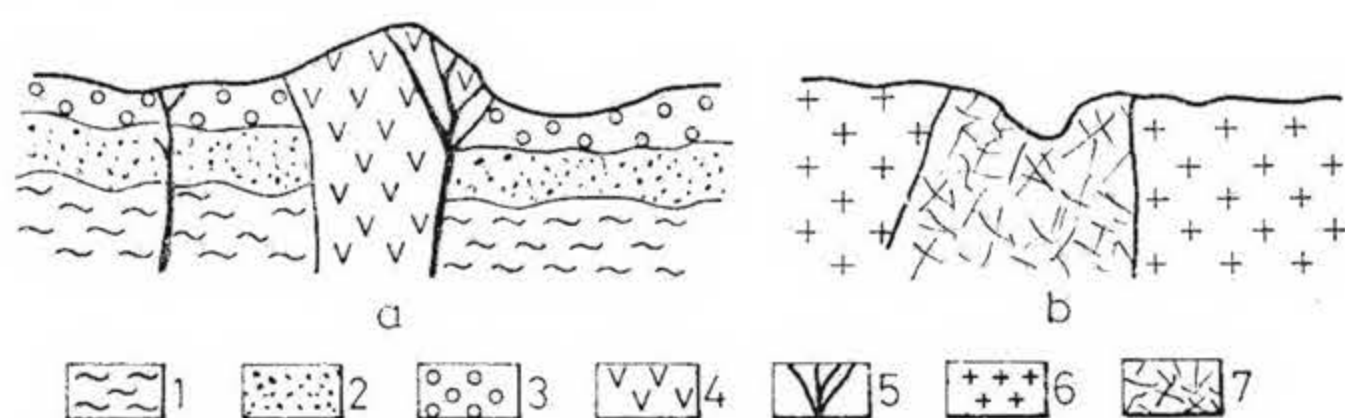


Fig. X.1. Depunerea de mineralizații pe fracturi și pe o rețea densă de fisuri:

a - filoane; b - volbură; 1 - depozite cretacice; 2 - depozite miocene; 3 - aglomerate andezitice miocene; 4 - stilp de andezite; 5 - filoane; 6 - granite; 7 - volbură.

Favorabile pentru localizarea concentrațiilor hidrotermale sînt *variatele tipuri și sisteme de fracturi și variatele tipuri de breccii* (tectonice, de explozie, de prăbușire); rezultă filoane, cu diferite aspecte morfologice, dacă depunerile s-au realizat la nivelul fracturilor, sau stock-uri și volburi, dacă mediul de depunere a fost o masă de breccii ori o rețea densă de fisuri (fig. X.1). Mai puțin frecvente, dar cu o deosebită importanță pentru procesul de metalizare hidrotermală, sînt *fracturile din șarnierele și de pe flancurile anticlinalelor*, precum și *cavitățile de exfoliere a stratelor din zonele anticlinale și sinclinale* (fig. X.2).

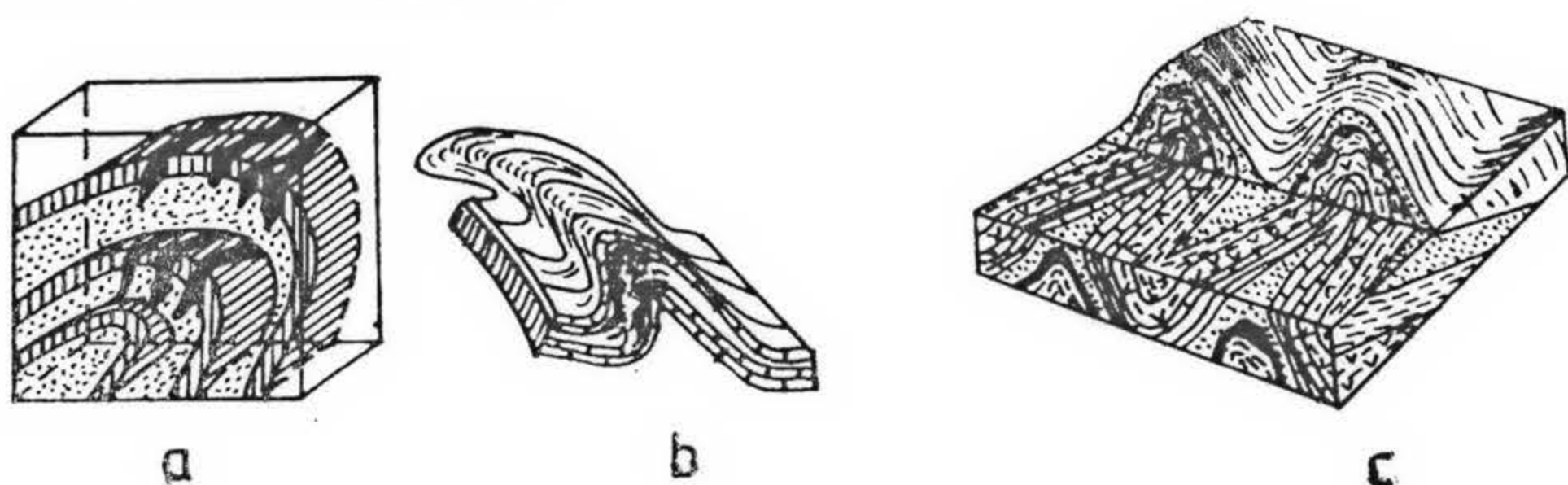


Fig. X.2. Localizarea mineralizațiilor în raport cu elementele structurale:

a - în fisurile din șarniera unui anticlinal; b - în fisurile de pe flancurile unei cute; c - în spațiile rezultate din exfolierea stratelor.

Fracturile majore, unele falii cu extinderi importante, ca și planele de încălecare constituie, în anumite situații, calea de migrare a soluțiilor mineralizante. Efectele acestui fenomen sînt trădate de impregnațiile de minerale metalice și de transformările metasomatice ale rocilor cu astfel de elemente structurale; corpurile de mine-

reuri vor fi localizate pe fracturile adiacente elementelor structurale majore. În acest fel, pentru fundamentarea teoretică a lucrărilor de prospecțiune geologică este esențială stabilirea rolului îndeplinit de diferitele elemente structurale: a) cale de acces pentru soluțiile mineralizante; b) rol de intermediar între fracturile majore și cele în care se depun mineralizațiile; c) sediul localizării mineralizațiilor (fig. X.3).

În cazul concentrațiilor de afiliație sedimentară și metamorfică importante sînt deformările plicative și rupturale care afectează corpurile de minereu. Uneori, corpurile

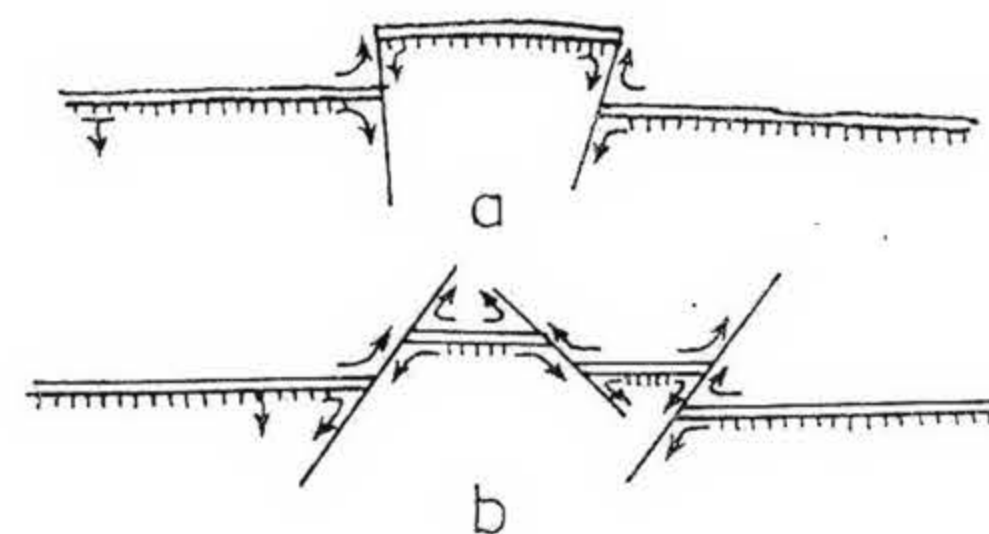


Fig. X.3. Circulația soluțiilor hidrotermale pe falii:

a - falii transversale; b - falii diagonale.

de minereu prinse în cîmpul de acțiune al mișcărilor tectonice își pot păstra, pe distanțe mari, aspectele morfologice primare; altele sînt intens cutate și budinate, adesea efilîndu-se pe flancurile cutelor, iar în zona axială a anticlinalelor și sinclinalelor realizîndu-se o îngroșare a masei de minereu. Intervenția deformărilor rupturale, alături de cele plicative, face ca forma primară a zăcămintelor să fie cu greu recunoscută. În aceste situații, reconstituirea formei inițiale implică un studiu statistic al tuturor elementelor structurale, stabilindu-se relațiile de timp dintre ele, ca și etapele procesului de deformare.

Adesea deformările plicative și rupturale din timpul metamorfismului regional sînt însoțite și de fenomene de remobilizare locală și de redepunere a substanțelor minerale utile, la nivelul planelor de șistozitate și a fracturilor. Astfel de concentrații locale, realizate în metamorfismul regional, oferă false succesiuni de depunere și false aspecte concordante în planurile de șistozitate. Reconstituirea formei inițiale este, în acest caz, și mai dificilă, ea necesitînd studii aprofundate petrografice, stratigrafice, microstructurale și chiar paleogeografice, pe ansamblul unității structurale în care se află zăcămintele, în scopul orientării lucrărilor de cercetare geologică.

Corpurile de minereu sînt grupate în unități metalogenetice de diferite mărimi, în cadrul unităților tecto-structurale majore, plăcile litosferice; ele urmăresc, din aproape în aproape, unitățile petrogenetice cu care se asociază. Examinarea relațiilor dintre aceste unități conduce la concluzii cu importanță în prospecțiunea preliminară, privind cadrul tectonic, asociațiile petrometalogenetice și poziția lor în unitățile tecto-structurale majore.

Astfel s-a remarcat faptul că la marginea plăcilor litosferice cu contacte de divergență, contacte de convergență sau contacte definite ca falii transformante, corpurile de minereu au frecvența cea mai mare, în timp ce în interiorul plăcilor frecvența lor este mai redusă.

Așa, de exemplu, o mare parte dintre concentrațiile lichidmagmatice (Cr, Ni-Cu, Fe-Ti-V), hidrotermale (filoane și volburi cu mineralizații de Cu, pirită etc.) și vulcanogene sulfuri masive stratiforme tip Cipru, oxizi de fier și mangan) se află în regiunile de expansiune din domeniul oceanic și al bazinelor marginale, asociindu-se magmatitelor

tholeiitice și sedimentelor de la partea superioară a acestora (fig. X.4). Uneori, astfel de concentrații, asociate ultrabazitelor (peridotite, serpentinite) și bazitelor (gabrouri, curgeri de lave bazaltice, frecvent în facies de pillow-lava), se găsesc pe marginea plăcilor cu contacte de convergență, în poziție alohtonă; sînt fragmente de crustă oceanică (ofiolite alohtone). Mineralizațiile cuprifere asociate complexelor de roci bazice de la Baia de Aramă aparțin acestui tip.

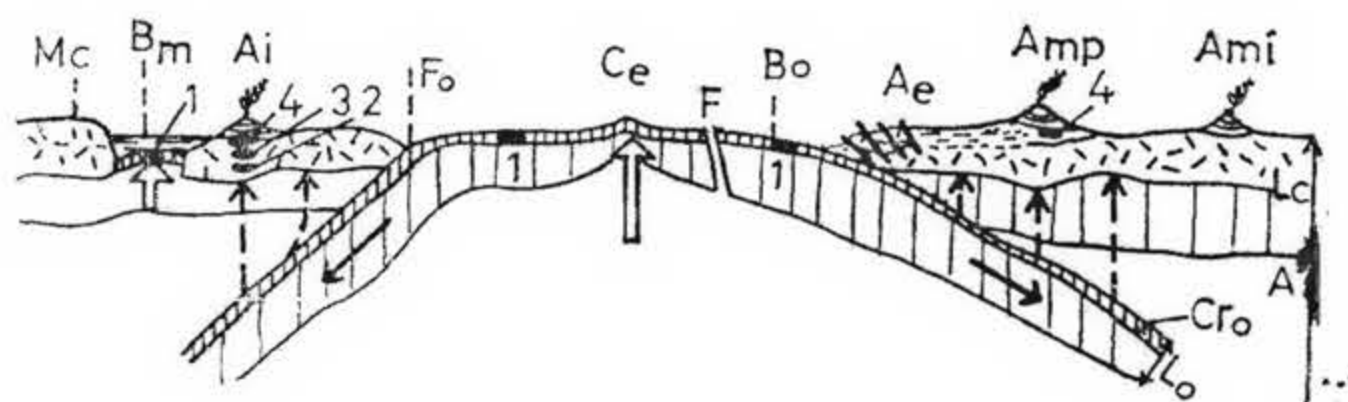


Fig. X.4. Localizarea corpurilor de minereuri la marginea plăcilor litosferice :

Ce — creastă de expansiune principală; F — falie transformantă; Fo — fosă; Bo — bazin oceanic; Lc — litosferă oceanică cu crustă oceanică (CrO) și sedimentele de la partea sa superioară; Lc — litosferă continentală; A — astenosferă; Ae — arc extern; Amp — arc magmatic principal tip *andin*; Ami — arc magmatic intern; Ai — arc insular; Bm — bazin marginal; Mc — margine continentală inactivă; 1 — concentrații vulcanogene de Cu și pirită tip *Cipru* și de oxizi de fier și mangan; 2 — concentrații vulcanogene de Cu-Zn, tip *Gjervinsk*; 3 — concentrații vulcanogene de Zn-Pb-Cu stratiforme tip *Kuroko*; 4 — concentrații de Cu(Mo, Au) tipul *porphyry*.

O altă parte dintre concentrațiile metalifere, îndeosebi pegmatitice, pirometasomatice și hidrotermale, ca și unele vulcanogene cu aspect stratiform, se află în regiunile de comprimare a litosferei, în relații genetice îndeosebi cu magmatite calco-alcaline: granite, granodiorite, diorite, monzodiorite, andezite, dacite, riolite; acestea provin prin consolidarea magmelor generate în cadrul zonelor de subducție tip *andin*. În arcurile magmatice principale tip *andin* se găsesc cele mai variate și mai numeroase concentrații pegmatitice, pirometasomatice și hidrotermale; pentru acestea din urmă sînt caracteristice mineralizațiile de Cu (Mo, Au) din sistemul *porphyry*, de Au-Ag și polimetalice cu aspecte filonice și de volburi, ca și de Au tip *Carlin* de temperatură scăzută în roci carbonatice. Magmatitele din arcul magmatic intern conțin concentrații pirometasomatice și hidrotermale (Sn, tip *porphyry*, W, polimetalice). În arcul extern pot apare uneori granite tip *S* purtătoare de mineralizații hidrotermale de staniu. Cu o frecvență deosebită sînt mineralizațiile asociate magmatitelor din arcurile insulare, ca de exemplu: concentrații lichidmagmatice, hidrotermale și vulcanogene de sulfuri (Cu-Zn) tip *Gjervinsk*, formate în relații genetice cu magmatite bazice ale seriei tholeiitice, în stadiul de arc imatur; concentrații vulcanogene de sulfuri masive (Zn-Pb-Cu) stratiforme tip *Kuroko*, asociate diferențiatelor acide din seria calco-alcalină, în stadiu de arc matur; concentrații de cupru din sistemul *porphyry* aflate în relații genetice cu magmatite dominant dioritice, calco-alcaline. Concentrațiile pirometasomatice și hidrotermale (Cu din sistemul *porphyry* și din skarne; Pb-Zn, Fe, B, Mo-Bi, Cu-Mo-Bi, W din skarne; filoane de cuarț-molibden) aflate în asociația granit-granodiorit sau granodiorit-diorit, monzodiorit, Senonian-paleocene, împreună cu mineralizațiile hidrotermale (Au-Ag; Cu-pirită; polimetalice; Cu din sistemul *porphyry*) din asociațiile andezitice

neogene (roci andezitice cu diferențiatele lor) de pe teritoriul țării noastre aparțin metalogenezei zonelor de subducție, formate în arcuri magmatice.

Unele concentrații metalifere, cum sînt de exemplu cele de Sn-W și de U, apar în asociație cu intruziuni de granite tip *S* în perioada proceselor de coliziune, cînd are loc închiderea spațiului oceanic (fig. X.5).

Mineralizațiile din lungul faliilor transformante sînt mai puțin studiate. Sînt menționate anumite concentrații lichid-magmatice de Cu-Ni din ultrabazite sau de Ti

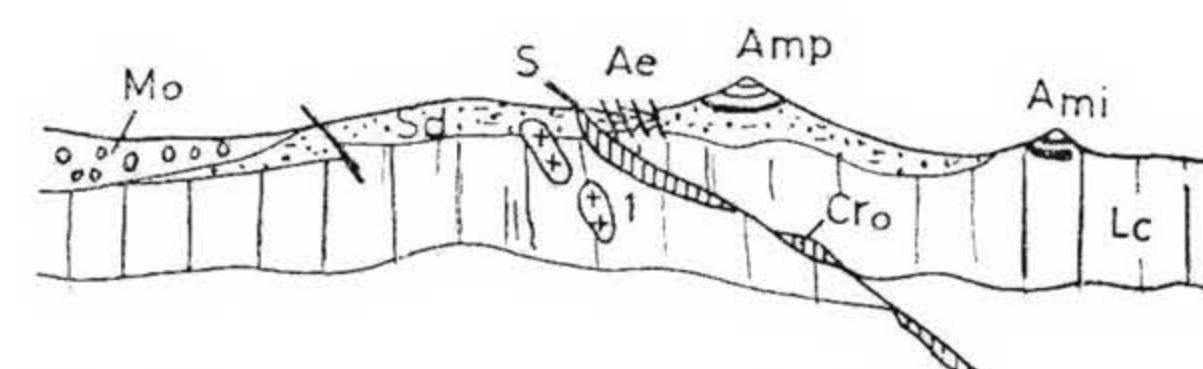


Fig. X.5. Asocierea unor mineralizații cu magmatite granitice formate în timpul coliziunii :

Ae — arc extern; Amp — arc magmatic principal; Ami — arc magmatic intern; CrO — fragmente de crustă oceanică; Sd — sedimente; Mo — molasă; S — linie de sutură; Lc — litosferă continentală; 1 — granite de tip *S*, formate în timpul coliziunii, cu care se asociază mineralizații de Sn, W, U sau Ag-Co-Ni (după R.D. Beckinsale și A.H.G. Mitchell, 1981, cu modificări).

(ilmenit) din gabrouri, aflate pe astfel de falii. Investigațiile recente au arătat că faliile transformante din spațiile oceanice se pot corela pe direcție cu unele fracturi continentale; la intersecția acestor falii cu creasta oceanică, precum și a fracturilor continentale de pe direcțiile faliilor transformante, cu alte sisteme de fracturi tectonice majore de pe continent, se dispun importante corpuri de minereuri.

În interiorul plăcilor, în relații genetice cu magmatismul anorogenic din zonele fierbinți apar concentrații lichidmagmatice și hidrotermale, uneori de mare valoare economică. Este cazul concentrațiilor de Fe-Ti, Ni-Cu, Pt, Cr din unele intruziuni gabro-periodotice, stratiforme, a carbonatitelor din complexe alcaline, ca și a unor mineralizații de staniu asociate granitelor anorogene. În rifturile intracontinentale sînt frecvente mineralizațiile stratiforme de Pb-Zn-Ba tip *Mississippi Valley* și concentrații de Cu în roci detritice grosiere; în asociații cu vulcanite se găsesc corpuri de sulfuri masive. Pe fracturile ce delimitează rifturile apar carbonatite cu Nb, TR, U, Th, Zr, Cu, P etc. Au fost identificate, în astfel de cadru tectonic, și mineralizații de Cu sau Cu-Mo tip *porphyry* ca și kimberlite cu diamante.

1.1.2. PREMISE MAGMATICE

Premisele magmatice privesc un ansamblu de elemente legate de evoluția în timp și în spațiu a magmelor și a soluțiilor postmagmatice afiliate, pe baza cărora pot fi conturate zonelor favorabile localizării concentrațiilor de substanțe minerale utile. Astfel de elemente sînt: relațiile dintre substanțele minerale utile și tipurile de magmatite, relațiile dintre concentrațiile metalifere și granulația magmatitelor, forma de zăcămint, dimensiunea și structura internă a corpurilor eruptive, ca și zonalitatea mineralizațiilor.

Relațiile dintre substanțele minerale utile și tipurile de magmatite pot fi: *genetice* și *paragenetice*.

În cazul relațiilor genetice, magmatitele și concentrațiile de substanțe minerale utile asociate prezintă cel mai apropiat grad de înrudire, ele având ca element comun sursa și procesele de formare. Prin modul lor de prezentare, magmatitele purtătoare de concentrații de minerale utile constituie chiar ele corpuri de minereuri. În asociație genetică evidentă și cu valoare deosebită pentru lucrările de prospecțiune, se află

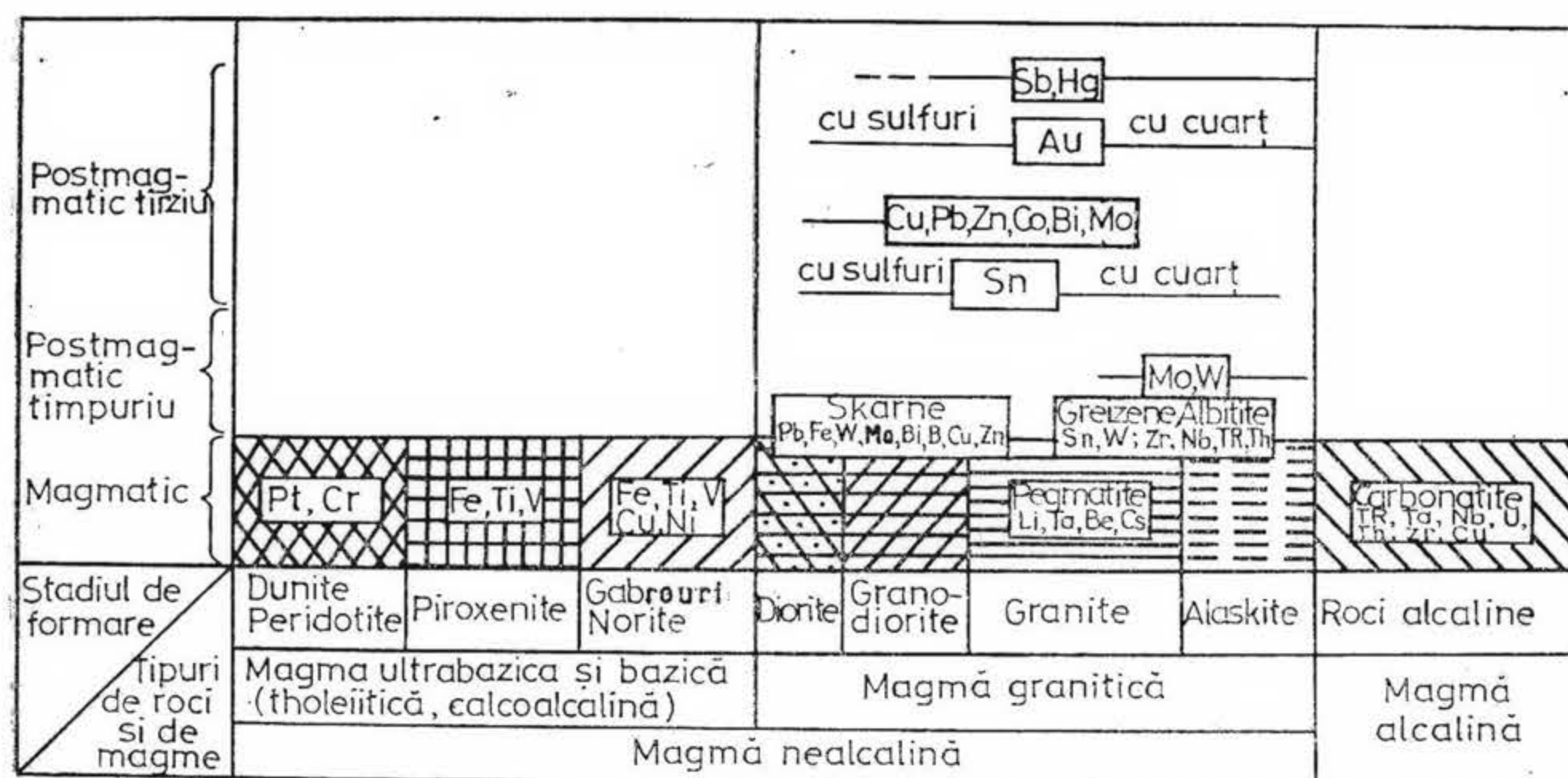


Fig. X.6. Afinitățile anumitor elemente pentru unele tipuri de magme.

concentrațiile de minerale metalice de natură lichidmagmatică din intruziunile de roci bazice și ultrabazice. Este cazul cromitului și platinei din peridotite și serpentinite, ilmenitului și titanomagnetitului din gabrouri și anortozite, pirotinei nichelifere din norite și gabrouri, diamantului din kimberlite etc.

În cazul relațiilor paragenetice, magmatitele și mineralizațiile asociate au ca element comun numai sursa, procesele genetice fiind deosebite. În astfel de relații se găsesc, de exemplu, mineralizațiile din skarne și greisene afiliate intruziunilor acide și intermediare, mineralizațiile de tip *porphyry copper* sau de tip *porphyry molybdenum* din intruziunile în facies porfiric, filoanele cu mineralizații auro-argentifere, cuprifere și polimetalice asociate vulcanismului andezitic.

De fapt, astfel de relații genetice și paragenetice sînt o continuare și, prin urmare, o concretizare a afinităților anumitor elemente pentru unele tipuri de magme (fig. X.6). Magma bazică și ultrabazică sînt în general deficitare în componenți volatili, ceea ce influențează concentrarea cu precădere a Pt, Os, Ir, Cr, Ti, V, Ni și Cu în faza lichidmagmatică. Magma acide au un conținut ridicat în componente volatile, ceea ce determină apariția fluidelor care generează treptat greisenele și albitele cu concentrații de Sn, W, Nb, Zr, Th, TR. Magma intermediare prezintă cantități suficiente de componente volatile, pentru ca fluidele diferențiate din acestea să contribuie la formarea skarnelor și mineralizațiilor asociate (Fe, B, W, Mo, Bi, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, U). Soluțiile hidrotermale provenite printr-o diferențiere evoluată

atît a magmelor acide cît și a celor intermediare concentrează Mo, W, Sn, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Bi, U, Au, Ag, Sb, Hg. În contrast cu magma nealcaline se află cele alcaline, pentru care prezintă afinități TR, Nb, Ta, Zr, Th, U etc. care se concentrează prin intermediul soluțiilor postmagmatice.

Din numeroasele observații de teren a rezultat că magma acide și intermediare generează cea mai mare parte din mineralizațiile postmagmatice; ele ar reprezenta circa 95% din ansamblul concentrațiilor postmagmatice afiliate magmelor nealcaline și alcaline.

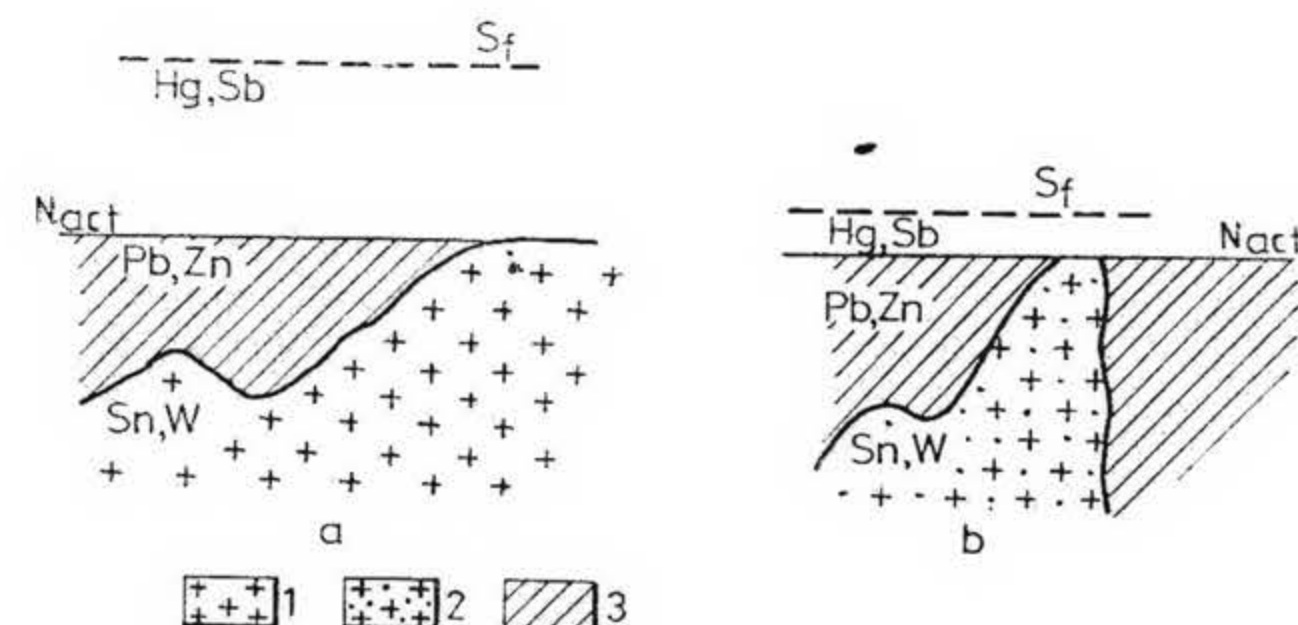


Fig. X.7. Relațiile dintre dezvoltarea mineralizațiilor în zonele de influență ale intruziunilor și granulația rocilor:

1 — granite; 2 — microgranite; 3 — formațiuni înconjurătoare; N_{act} — nivelul actual de eroziune; S_f — suprafața în momentul formării intruziunilor.

Aceste aspecte, oarecum generale pentru fundamentarea lucrărilor de prospecțiune, au fost adîncite în ultimul timp, în sensul identificării unor asociații preferențiale ale unor concentrații de substanțe minerale utile cu anumite tipuri de intruziuni. Spre exemplu, s-a stabilit că mineralizațiile de casiterit din pegmatite și de casiterit-cuarț, hidrotermale, sînt legate preferențial de intruziuni acide în care $K > Na$. În schimb, concentrațiile de casiterit-sulfuri sînt în asociație cu intruziuni intermediare, granodioritice sau cuarț-monzonitice. Conținutul în Sn al granitelor purtătoare de mineralizații staniifere este ridicat (16-30 g/t sau mai mult), în timp ce în granitele lipsite de astfel de mineralizații conținutul în Sn este scăzut; concentrarea staniului apare, în schimb, la nivelul biotitului (80 la 200 g/t Sn).

Efectuarea unor astfel de investigații sistematice, pe asociații de mineralizații și intruziuni, ar putea oferi o mai bună fundamentare a lucrărilor de prospecțiune, în sensul conturării arealelor cu diferite grade de perspectivă și chiar a precizării intruziunilor cu potențial metalogenetic ridicat.

Relațiile dintre concentrațiile metalifere și granulația rocilor eruptive, cu care acestea se asociază, permit a previziona dezvoltarea pe înălțimi mai mari sau mai restrînse a mineralizațiilor, în zonele de influență ale intruziunilor; mineralizațiile au o extindere mai mare în aria de influență a intruziunilor constituite din roci grăunțose și mai redusă în jurul intruziunilor alcătuite din roci microgrăunțose (fig. X.7). Această corelație este determinată de rata de răcire a magmei care, la rîndul său, va controla momentul de separare a soluțiilor metalizante din camera magmatică și modul lor de diferențiere în spațiu.

Forma de zăcămint a corpurilor eruptive, privită în corelație cu caracterul acid, intermediar, bazic sau ultrabazic al rocilor componente, oferă indicații asupra poziției în spațiu și chiar a tipurilor de mineralizații.

Concentrațiile de substanțe minerale utile asociate plutonilor și subvulcanilor cu caracter acid sau intermediar sînt localizate în zonele marginale și în cele de influență ale acestora (zone de contact, formațiuni înconjurătoare); ele au un caracter pegmatitic, pirometasomatic și hidrotermal. Se consideră că în apropierea apofizelor slab înclinate și de formă neregulată sînt cele mai favorabile condiții de depunere a

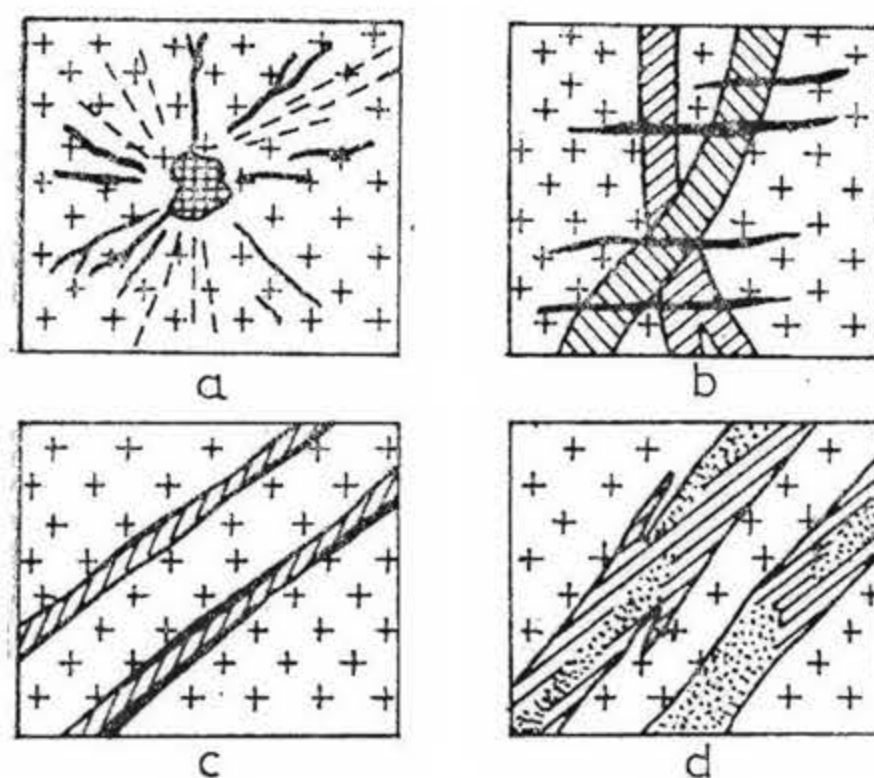


Fig. X.8. Relații între dik-uri de roci eruptive intermediare sau acide și mineralizații hidrotermale :

a — între dik-uri radiare (linii continue) și mineralizații (linii întrerupte); b — între dik-uri (cu hașuri) întretăiate de filoane metalifere (benzi negre); c — între dik-uri (hașuri) și mineralizații benzi (negre) localizate pe aceleași fracturi; d — dik-uri (cu hașuri) și mineralizații sub formă de impregnații (punctate).

acestor mineralizații. În faciesurile porfirice ale plutonilor și în rocile subvulcanice, adesea cu o rețea densă de fisuri, concentrațiile metalifere se pot dispune ca impregnații și vinișoare (volburi), însoțite de alterații hidrotermale caracteristice; sînt mineralizațiile de tip *porphyry*. Relațiile spațiale ale dik-urilor cu mineralizațiile hidrotermale pot varia de la o dispoziție radiară sau de întretăiere, pînă la localizarea pe aceeași fractură (fig. X 8).

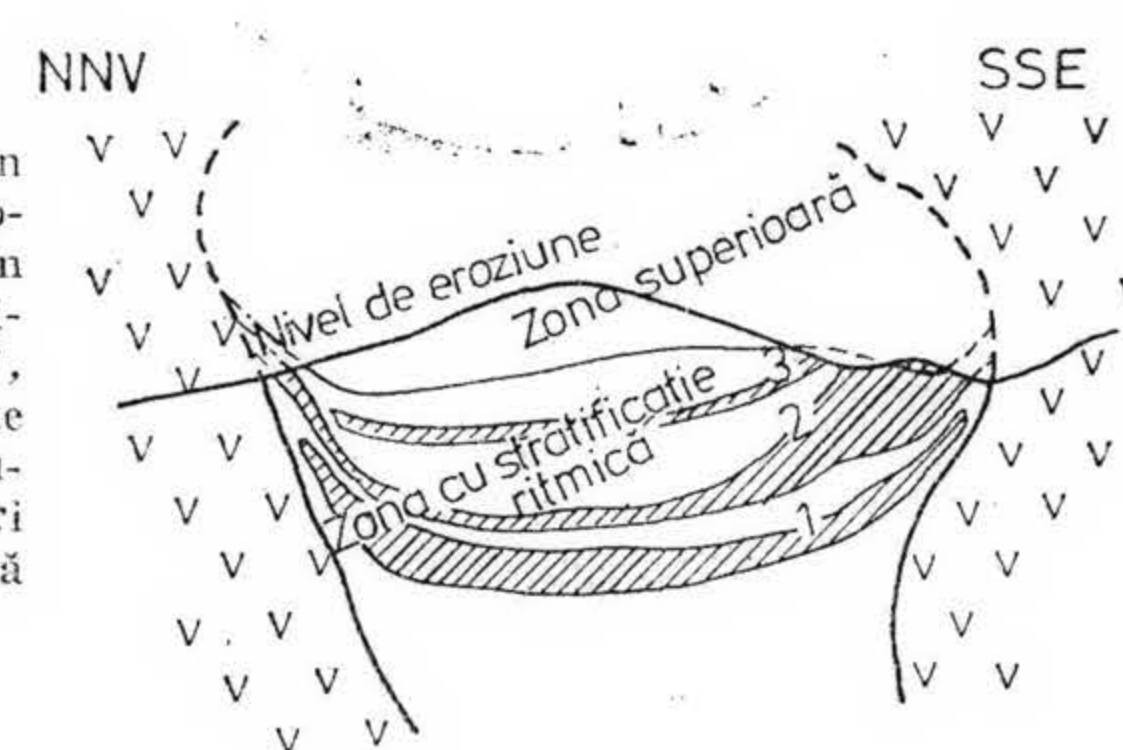
În contrast cu acestea, concentrațiile asociate lopolitelor, lacolitelor, pînzelor intruzive și dik-urilor de roci bazice și ultrabazice, diferențiate stratiform sau *alpino-tip* sînt localizate cu precădere în interiorul intruziunilor, ca diseminări, cuiburi, șlire și acumulări sub formă de orizonturi continue sau discontinue; ele au un caracter lichid magmatic. Depunerile hidrotermale sînt în afara intruziunilor și au o importanță redusă.

Mineralizațiile asociate aparatelor vulcanice și coloanelor de brecii din complexe vulcanice se dispun în apropierea contactului cînd au un aspect filonian, sau în interiorul acestora, cînd alcătuiesc volburi; uneori se dezvoltă în formațiunile înconjurătoare, la distanțe mai mari sau mai mici față de corpurile eruptive înrădăcinate, fiind controlate structural. Stivele de lave, uneori bazice (tholeiitice), alteori andezitice-dacitice, conțin corpurile stratiforme de sulfuri masive, vulcanogene, situate la limita cu formațiunile sedimentare acoperitoare; ele s-au format în condiții submarine.

Dimensiunea intruziunilor oferă o primă imagine asupra mărimii corpurilor de minereuri. Se consideră că zăcămintele cu dimensiuni mari sînt legate genetic de batholite, stock-uri și lopolite. Prin aceasta nu trebuie neglijată cercetarea intruziunilor de mică adîncime (lacolite, sfenolite, variate apofize, dik-uri) cărora li se asociază importante concentrații metalifere cu valoare deosebită.

Intruziunile bazice și ultrabazice sînt diferențiate stratiform sau *alpino-tip*. În cazul intruziunilor stratiforme, acumulările de substanțe minerale utile apar în orizonturile bazale sau intermediare; există situații cînd concentrațiile metalifere se găsesc la diferite nivele în profilul intruziunilor (fig. X.9). Orizonturile purtătoare de minerale utile sînt mai mult sau mai puțin continue, cvasiorizontale sau înclinate și prezintă grosimi variabile de la cîțiva centimetri la cîțiva zeci sau sute de metri. În cazul intruziunilor diferențiate *alpino-tip* concentrațiile de substanțe minerale utile formează șlire, cuiburi și diseminări în masa intruziunii.

Fig. X.9. Secțiune geologică prin dike-ul de la Almaș Săliște (Munții Drocea). Zona superioară — alcătuită din gabrouri și anortozite; zona cu stratificație ritmică — cuprinde trei nivele (1, 2, 3) formate din gabrouri, hiperite și dolerite cu magnetit (benzile hașurate) care alternează cu gabrouri (porțiunile albe). Intruziunea se află în bazalte tholeiitice, jurasice.



Elementele structurale ale unei intruziuni pot fi *primare* și *secundare*. Primele elemente structurale, sesizabile la scară microscopică sau mezososcopică, se formează în faza de curgere (prectectonică), cînd are loc procesul de cristalizare, și în faza solidă,

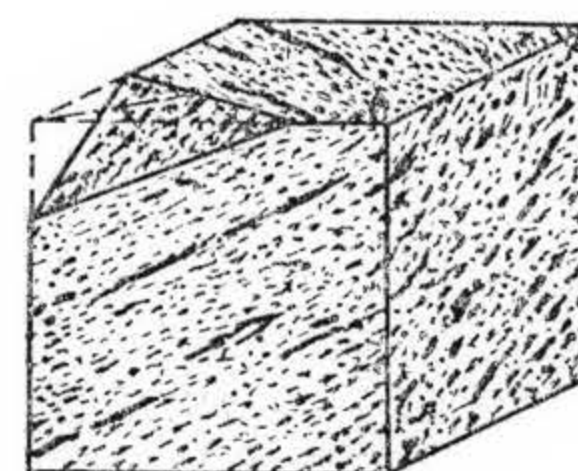


Fig. X.10. Dispunerea benzilor de minereu în planul de curgere.

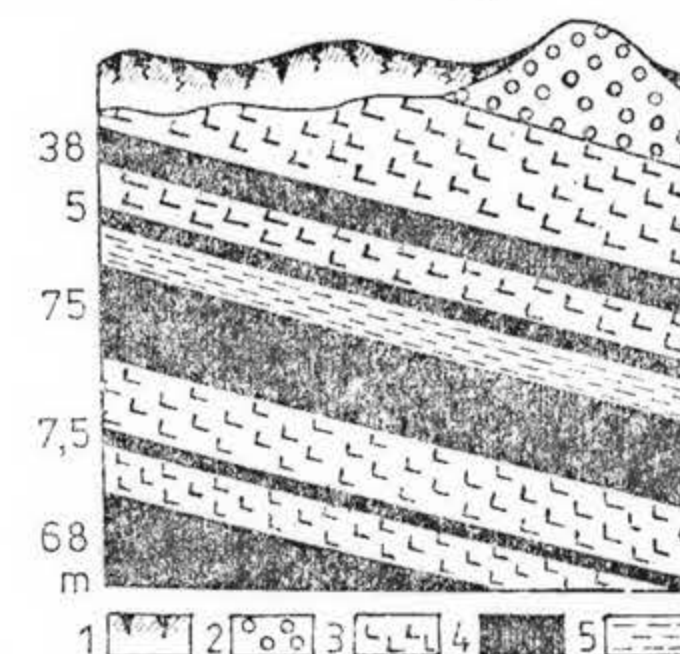


Fig. X.11. Localizarea benzilor de cromit în lopolitul de la Bushveld: 1 — sol; 2 — anortozite; 3 — gabrouri; 4 — cromite; 5 — bronzite.

după consolidarea zonelor periferice ale camerei magmatice. În faza de curgere apar foliația și liniația (fig. X.10), în lungul cărora se dispun mineralele utile; uneori ele pot da naștere la acumulări stratiforme (fig. X.11). În faza solidă rezultă fisuri primare, localizate în părțile marginale ale intruziunii, unele conform cu foliația și liniația

(fig. X.12). Fisurile transversale (5), fisurile slab înclinate (3) și fisurile marginale (2) pot conține mineralizații hidrotermale și pegmatite; fisurile longitudinale (4) și fisurile diagonale (6 și 7) sînt de regulă închise și lipsite de mineralizații.

Elementele structurale secundare se datoresc mișcărilor tectonice, care se manifestă după formarea corpului intruziv. Ele au extinderi mari și conțin mineralizații, așa cum am menționat la premisele structurale.

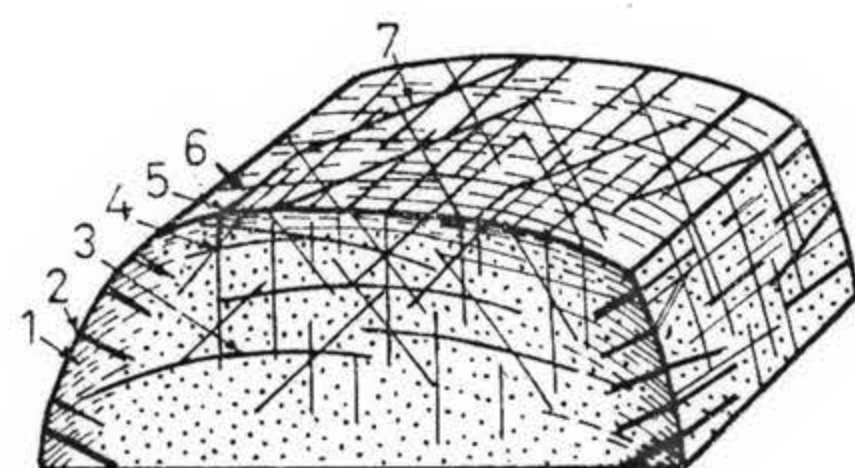


Fig. X.12. Orientarea fisurilor primare într-un corp intruziv:

1 - liniație primară; 2 - fisuri marginale; 3 - fisuri tangențiale; 4 - fisuri longitudinale; 5 - fisuri transversale; 6 și 7 - fisuri diagonale.

Distribuția zonală a mineralizației (fig. X.13) are o valoare deosebită în stabilirea relațiilor dintre anumite substanțe minerale utile și intruziunile care le-au generat. Variația sistematică a compoziției mineralogice sau chimice în cuprinsul zonelor cu mineralizații, ca și tendințele de dezvoltare a acestora în acoperișul intruziunii, constituie elemente de orientare a lucrărilor de prospecțiune.

1.1.3. PREMISE LITO-STRATIGRAFICE

Natura litologică și poziția stratigrafică a formațiunilor în care se concentrează substanțele minerale utile prezintă importanță în fundamentarea lucrărilor de prospecțiune.

Astfel, pentru formarea zăcămintelor postmagmatice, un rol esențial îl au porozitatea și cazășul rocilor. Prezența rocilor poroase sau traversate de variate sisteme de fisuri asigură circulația soluțiilor mineralizante și, prin urmare, condiții favorabile pentru localizarea concentrațiilor de substanțe minerale utile.

În același timp, existența într-o regiune a unor formațiuni carbonatice, străbătute de intruziuni acide-intermediare, calco-alkaline sau alkaline, însoțite de un cortegiu de transformări pneumatolitice și hidrotermale reprezintă un criteriu important pentru conturarea unor zone posibil purtătoare de concentrații metasomactice de fier, molibden, bismut, wolfram, cupru, plumb-zinc-argint etc. Formațiunile purtătoare de șisturi carbunoase, șisturi cuprifere sau piritoase, lamprofire, amfibolite etc. sînt medii favorabile pentru concentrarea intensivă a anumitor mineralizații cum sînt cele de aur sau uraniu; mineralizațiile vor fi mai bogate în zonele de intersecție a fracturilor, prin care

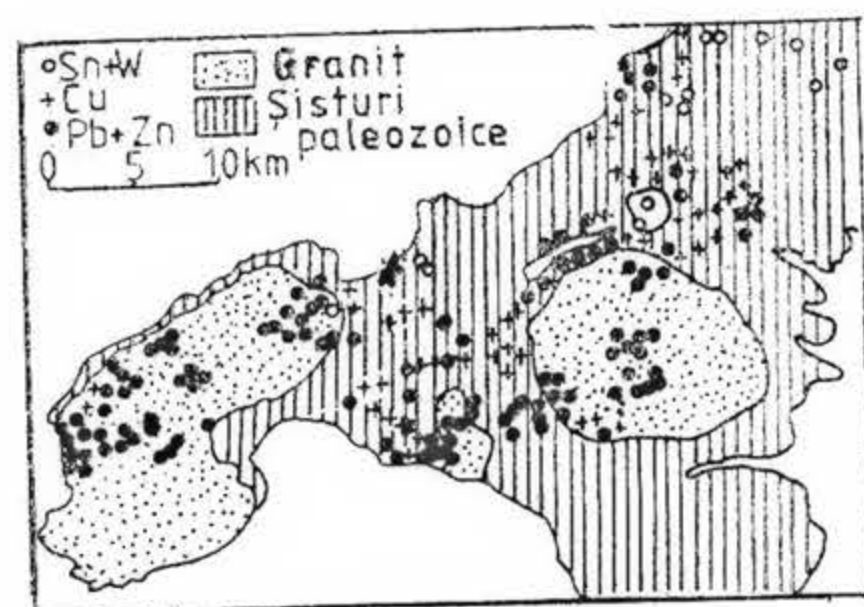


Fig. X.13. Distribuția zonală a mineralizațiilor de la Cornwall—Anglia.

circulă soluțiile mineralizante, cu rocile care constituie mediul reducător. Este influența topominerală prin care se exprimă relațiile spațiale dintre unele roci și concentrații metalifere.

Controlul stratigrafic se poate manifesta la scară regională sau locală, mai ales în cazul zăcămintelor de afiliație sedimentară. La diferite nivele, în secvențele formațiunilor sedimentare, marine sau lagunare, se pot afla, de la caz la caz, concentrații sedimentare chimice, vulcanogene sau de evaporare ca, spre exemplu, de fier, mangan, aluminiu, sulfuri, săruri, sulfati, argile etc. Pe suprafețele de peneplenizare, unde se manifestă un control geomorfologic riguros alături de cel stratigrafic, se găsesc adesea depuneri reziduale de nichel, fier, mangan, aluminiu etc.

În general, localizarea zăcămintelor în anumite etaje, orizonturi sau nivele ale unor formațiuni geologice, face necesară cunoașterea detaliată a unităților stratigrafice, a variațiilor de faciesuri și a accidentelor tectonice, care pot determina efilarea sau dispariția acestora.

1.1.4. PREMISE PALEOGEOGRAFICE

Elementele paleogeografice sînt utilizate în fundamentarea lucrărilor de prospecțiune, mai ales în strînsă corelație cu cele paleotopografice și geomorfologice, deoarece ele sînt esențiale în formarea și localizarea minereurilor. Dintre astfel de elemente reținem relieful ariilor de acumulare și dependența de ariile sursă, cursul paleorîurilor, variația liniei de țărm, direcția curenților în ariile de acumulare, paleoclimatul, existența unor centre de activitate vulcanică sau de izvoare fierbinți.

Mediul marin prezintă variate forme de relief cu acumulări specifice de substanțe minerale utile, distribuite în spațiu în funcție de paleotopografie (fig. X.14). Zonele litorale și de platformă continentală sînt favorabile concentrațiilor de fier oolitic, plumb și zinc, cupru și fosfați; în golfurile mai mult sau mai puțin închise se pot localiza unele minereuri de fier, cupru etc. Pragurile dintre două arii marcate de strîmtori, istmuri

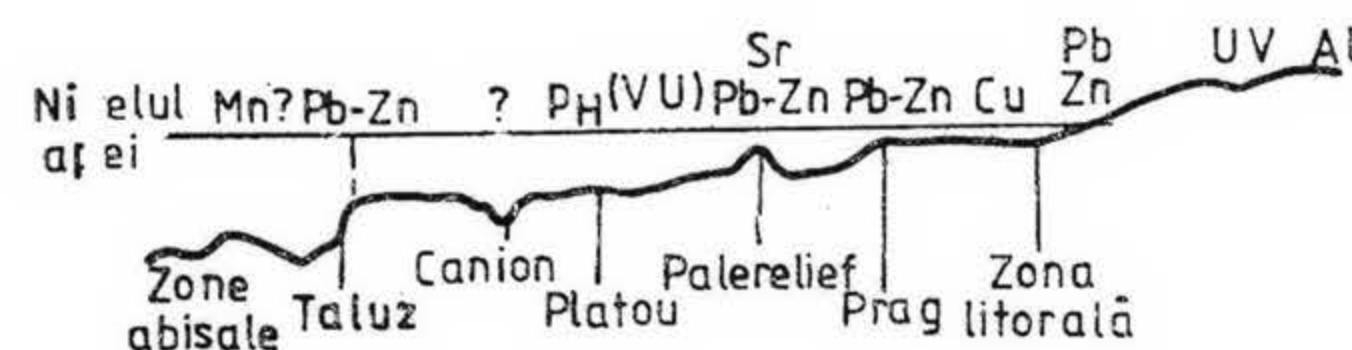


Fig. X.14. Distribuția concentrațiilor de minereuri în funcție de paleogeografie (după P.Nicolini, 1970)

formațiuni coraligene, zone pelagice etc. au uneori un rol important în localizarea concentrațiilor de substanțe minerale utile; un exemplu îl constituie istmul Kafue care separă două aliniamente de mineralizații cuprifere din Zambia (fig. X.15). Marginile ariilor peneplenizate constituie regiuni potențiale cu variate concentrații biogene și chemogene, ca de exemplu: bauxite, minereuri de fier și mangan, săruri, argile refractare. Uneori denivelările carstice conțin acumulări de fier, mangan, plumb-zinc, bauxite, osforite, baritină etc.

Reconstituirea cursurilor unor *vechi rețele hidrografice* este importantă deoarece în astfel de paleovăi și paleocuvete se găsesc depuneri de placersuri cu metale și pietre prețioase sau concentrații de uraniu, cupru și vanadiu; unele acumulări detritice (magnetit, ilmenit, rutil, zircon etc.) se află în *zonele de vărsare în mare* a acestor paleovăi. Descifrarea fluctuației liniei de țărm în cadrul procesului de transgresiune-regresiune ca și a orientării curenților marini, în strânsă corelație cu natura petrografică a formațiunilor

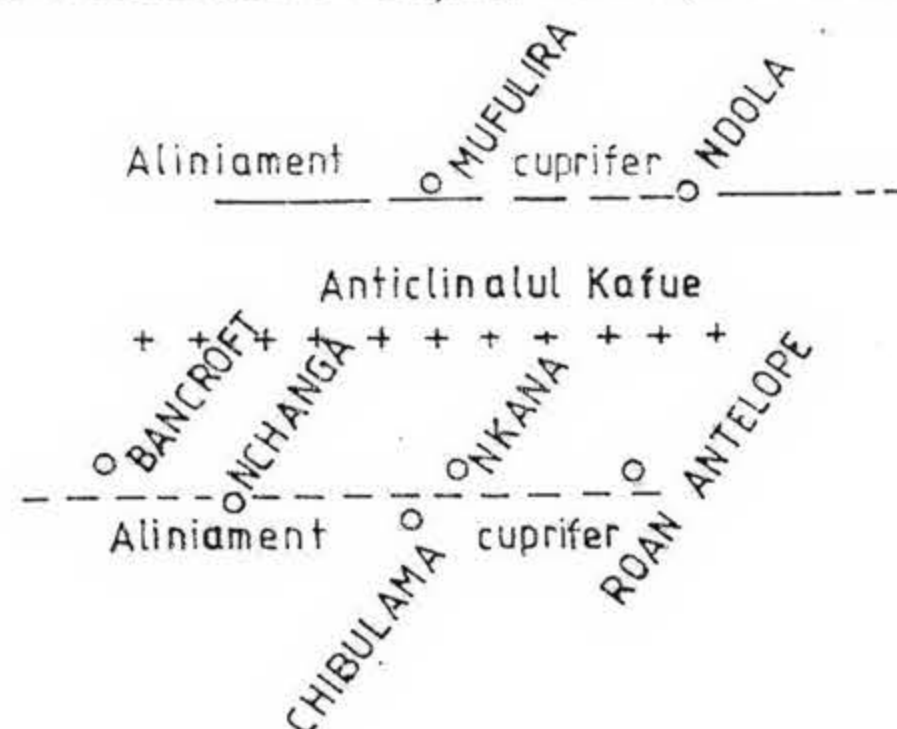


Fig. X.15. Istmul Kafue care separă două aliniamente cu mineralizații cuprifere din Zambia (după P. Nicolini, 1970). Cereulețele indică principalele zăcămintele de cupru.

nilor geologice, oferă elemente pentru conturarea zonelor de concentrare a minereurilor, uneori chiar a diverselor faciesuri pe care le îmbracă acestea. Un exemplu de relație între fluctuația liniei de țărm și depunerea diferitelor sulfuri este redat în fig. X.16.

De regulă, *formațiunile transgresive* sînt purtătoare de concentrații de fosfați; minereurile de fier, mangan, aluminiu (bauxite) și de sulfuri se asociază rocilor situate mult deasupra suprafețelor de transgresiune. În condiții de regresiune, pe uscat se ma-

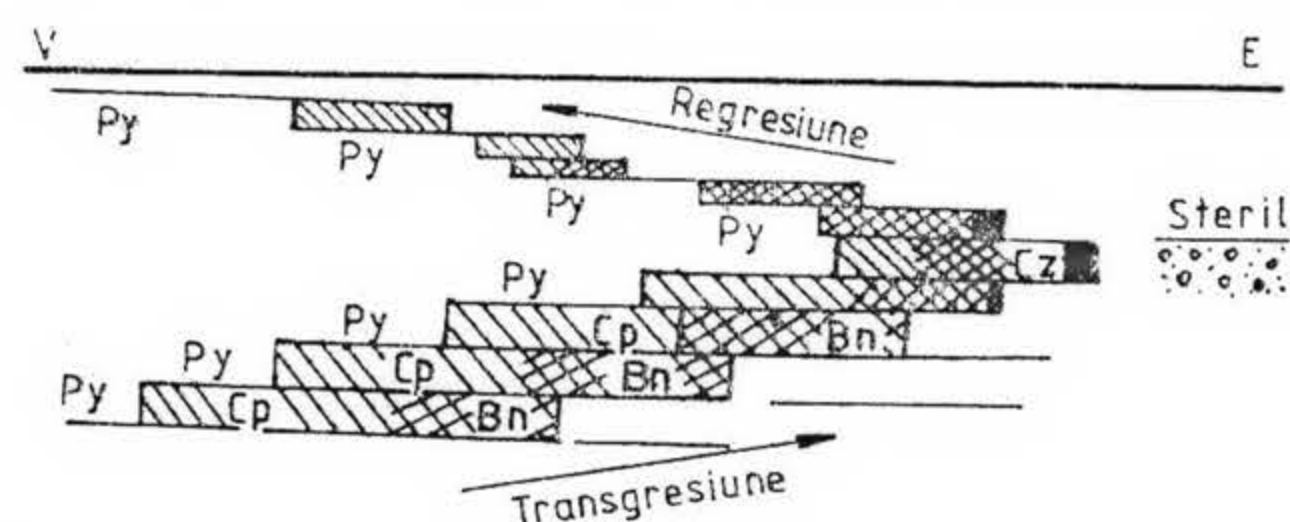


Fig. X.16. Relații între zonalitatea sulfurilor de natură sedimentară și fluctuația liniei de țărm (după W. G. Garlick, din P. Nicolini, 1970):

Py – pirită; Cp – calcopirită; Bn – bornit; Cz – calcozină.

nifestă intensiv procesul de alterație, generînd acumulări reziduale, iar în lagune procesul de evaporare, care conduce la depuneri de săruri.

Efectele *paleoclimii* se resimt puternic în geneza și localizarea minereurilor exogene, îndeosebi reziduale și de infiltrație; este cazul concentrațiilor de hidrosilicați de nichel pe serpentinite, laterite aluminoase pe roci silicatate slab ferifere, caoline pe roci feldspatice, oxizi de mangan pe roci primare manganifere, pălării de fier cu con-

ținuturi ridicate de Au, Fe, Pb pe unele zăcămintele de sulfuri. În general, climatul tropical și subtropical favorizează apariția lateritelor nichelifere și ferifere cu concentrații de asbolan, ca și a lateritelor aluminoase (bauxite) pe roci parentale silicatate (bazite, ultrabazite, sienite), iar cel temperat a unor concentrații reziduale de caolin pe roci feldspatice sau de fosfor, fier și mangan pe roci carbonatice.

Existența unor *centre de activitate vulcanică submarină* sau cu manifestări de *izvoare fierbinți* constituie premise pentru delimitarea unor areale cu sedimente feruginoase sau manganifere, ca și cu acumulări stratiforme de sulfuri vulcanogene.

1.1.5. PREMISE METAMORFICE

Premisele metamorfice, în corelație cu cele structurale, magmatice, litostratigrafice și paleogeografice oferă o primă imagine asupra formațiunilor cristalo-filiene posibil purtătoare de substanțe minerale utile de afiliație metamorfică. O astfel de valorificare complexă a premisei este necesară în vederea descifrării naturii premetamorfice a formațiunilor purtătoare de concentrații metalifere, a proceselor de metalogeneză premetamorfică și a aspectelor imprimate de metamorfism.

Conturarea zonelor favorabile și fundamentarea teoretică a investigațiilor în terenurile cristalo-filiene implică cunoașterea următoarelor aspecte: a) asociațiile petrografice, inclusiv caracterul lor premetamorfic, succesiunea pe verticală a formațiunilor, variațiile laterale de faciesuri ale mediului litologic prospectat; b) comportarea minereului în metamorfismul dinamic, regional, de îngropare și termic (modificări morfologice, structurale, texturale și mineralogice cu fenomenele de remobilizare și concentrare locală; modificări în succesiunea normală de depunere); c) corelația între concentrațiile metalifere și nemetalifere cu faciesurile metamorfismului regional (tabelul X.1); d) cadrul tectonic în care s-a desfășurat metalogeneză premetamorfică și deformările plicative și rupturale care au afectat formațiunile purtătoare de substanțe minerale utile.

Tabelul X.1

Asociații de concentrații de substanțe minerale utile cu faciesurile metamorfismului regional

Concentrații de substanțe minerale utile	Faciesuri
Cupru nativ	Zeolitic
Hematit și magnetit, siderit-ankerit, aur, uraniu, sulfuri, grafit, azbest etc.	Șisturi verzi
Silicați de mangan și zinc, magnetit, disten, sillimanit, corindon, șmirghel, grafit, ilmenit etc.	Amfibolitic
Magnetit, rutil, granați etc.	Granulitic
Rutil	Eclogitic

Pentru anumite regiuni este caracteristică asociația unor formațiuni cristalofiliene cu vulcanite bazice, dolerite, gabrouri și ultrabazite, metamorfozate în faciesul șisturilor verzi sau amfibolitic, care constituie elemente de litosferă oceanică; de intruziunile bazice și ultrabazice pot fi legate genetic concentrații lichidmagmatice (Cr, Pt, Ni, Fe, Ti, V), iar de poleovulcanitele bazice concentrații vulcanogene de pirită și cupru, ca și de mangan. Frecvente sînt paleovulcanitele acide în masa complexelor cristalofiliene, cu care se pot asocia mineralizații vulcanogene de sulfuri (Zn, Pb, Cu). Recunoașterea unor astfel de formațiuni de metamorfite în complexele cristalofiliene constituie un metalotect regional cu perspective importante pentru o metalogeneză lichidmagmatică și vulcanogenă stratiformă, tip *Cipru* sau tip *Kuroko*.

Uneori, în formațiunile cristalofiliene apar corpuri granitoide sincinematice sau postcinematice, în aureola cărora se pot afla concentrații pegmatitice (feldspați, mică, metale rare, pietre prețioase etc.) sau pirometasomatice și hidrotermale (Sn, W, Au, Pb, Zn, Ag etc.), mai ales în apropierea apofizelor acestora. O importanță deosebită au lentilele și filoanele de cuarț aurifer, mai ales în regiunile de platformă.

Descifrarea structurii geologice a terenurilor metamorfice, cu reconstituiri ale paleomediilor de sedimentare, permite nu numai precizarea condițiilor de formare a unor concentrații premetamorfice (Fe, Mn, sulfuri) de natură sedimentară, chimică și biochimică, sau a unor concentrații metamorfice propriu-zise (grafit, disten, granați, rutil etc.), dar și conturarea arealelor cu diferite grade de perspectivă de a identifica astfel de resurse minerale.

1.1.6. PREMISE GEOCHIMICE

O importanță deosebită pentru orientarea lucrărilor de prospecțiune în general și a celor geochemice în special prezintă cunoașterea acelor zone în care elementele chimice se găsesc într-o concentrație mai scăzută decît în zăcămint, dar mai ridicată decît în mediul înconjurător, zone cunoscute sub denumirea de *aureole de dispersie* sau *aureole geochemice* (fig. X.17). Ele reflectă la o scară mai mare forma zăcămintului

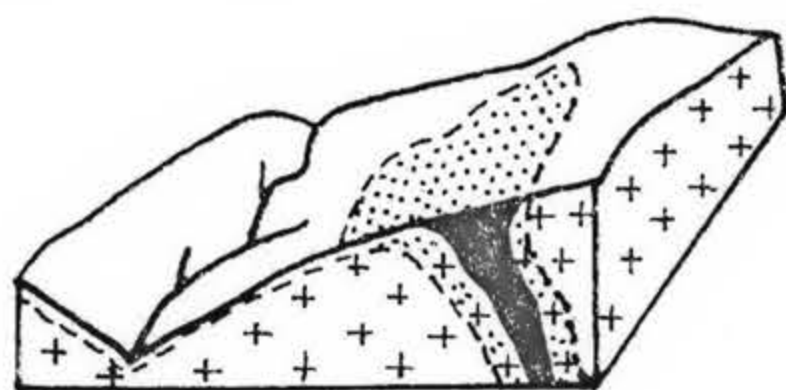
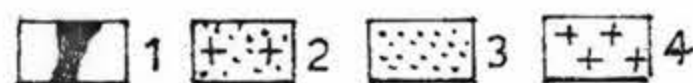


Fig. X.17. Aspectul unei aureole de dispersie :
1 - corp de substanță minerală utilă; 2 - aureolă de dispersie primară în granite; 3 - aureolă de dispersie secundară în sol; 4 - granite.



și pot fi folosite în prognoza privind existența unei mineralizații într-o regiune, îndeosebi atunci cînd contrastul dintre zonele cu conținuturi maxime și cele cu conținuturi minime din cuprinsul lor este puternic.

Aceste aureole geochemice, care pot să apară la zi sau pot fi ascunse în anumite structuri geologice, se grupează în: *aureole de dispersie primară* - formate simultan cu concentrațiile de substanțe minerale utile și *aureole de dispersie secundară* - rezultate prin procese de alterare supergenă a corpurilor de substanțe minerale utile.

La rîndul lor, fiecare din aceste două tipuri de aureole poate avea un caracter *singenetic*, dacă apare în același timp cu rocile înconjurătoare sau *epigenetic*, dacă rezultă după formarea acestora.

În primul caz, al aureolelor singenetice, trecerea de la zăcămint la zona învecinată se face treptat, forma aureolei reproducînd forma corpului de minereu și nefiind influențată de accidentele tectonice decît dacă rocile sînt străbătute de formațiuni mai noi și de altă natură decît roca gazdă. Astfel de aureole geochemice primare au extinderi mari și pot prezenta asociații tipice de elemente cu anumite roci (Cr, Pt, în peridotite și dunite, Ni, Cu în norite); ele sînt specifice zăcămintelor lichidmagmatice și zăcămintelor sedimentare și se folosesc la prospectarea concentrațiilor de Cr, Fe-Ti-V, Ni, Fe, Mn etc.

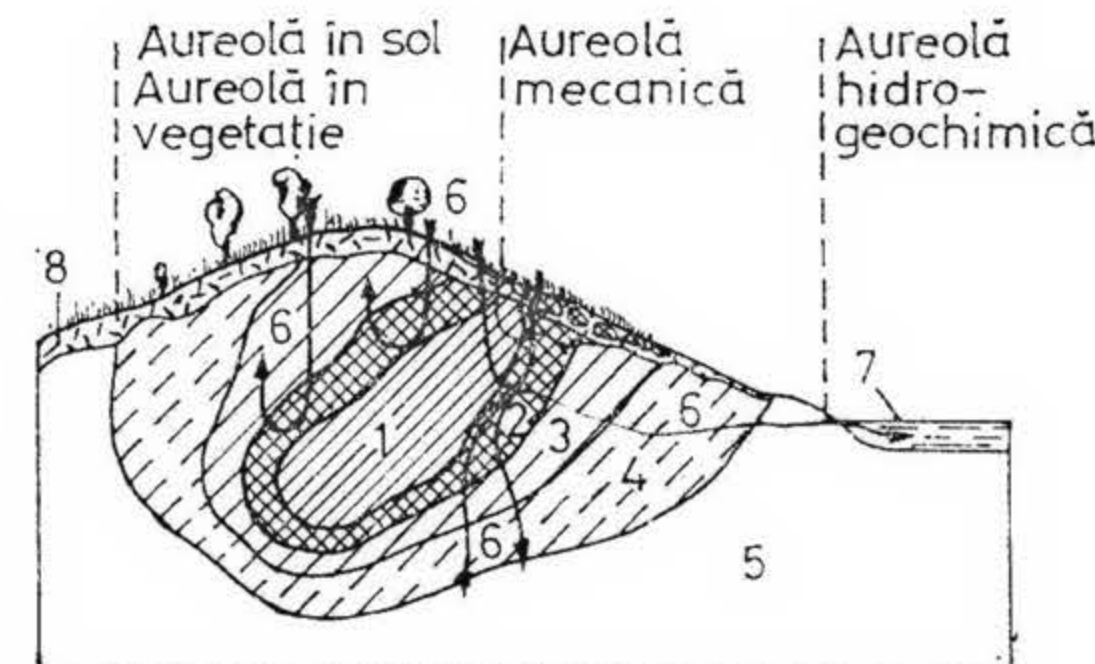
În cel de al doilea caz, al aureolelor primare epigenetice, trecerea de la zăcămint la aureolă este în general tranșantă, conținutul scăzînd brusc la limita dintre mineralizație și roca gazdă; mărimea aureolei nu depinde atît de forma și concentrația zăcămintului în componenți utili, cît mai ales de mobilitatea elementelor din fluidele mineralizante și de proprietățile rocilor gazdă. Forma și chiar compoziția chimică a aureolelor epigenetice sînt în mare măsură determinate de căile de acces ale soluțiilor, ca și de natura mediului înconjurător. Ele se pot forma în jurul zăcămintelor lichidmagmatice de injecție, pegmatitice, pirometasomatice, hidrotermale, mai rar a celor metamorfice, iar dintre cele exogene numai în apropierea zăcămintelor de infiltrație.

În cazul zăcămintelor postmagmatice este necesar să se stabilească relațiile dintre aureolele de dispersie și zonele afectate de transformări hidrotermale; acestea din urmă pot fi sincrone sau anterioare formării aureolelor de dispersie.

În categoria aureolelor de dispersie secundară, formate în timpul și din cauza proceselor de hipergeneză a zăcămintelor sînt incluse: aureole mecanice, aureole hidrogeochemice, aureole pedogeochemice și aureole biogeochemice (fig. X.18).

Fig. X.18. Schema formării aureolelor de dispersie secundară :

1 - zăcămint; 2, 3, 4 - aureolă geochemică în roca gazdă; 5 - roca gazdă necontaminată; 6 - ape de infiltrație; 7 - ape curgătoare; 8 - sol.



Aureolele mecanice iau naștere prin procese de alterare supergenă în care dezagregarea fizică deține rolul principal, iar dispersia elementelor chimice se realizează prin intermediul unor agenți de transport, care antrenează mineralele rezistente la alterare. Ele pot fi: eluviale, deluviale, proluviale, aluviale și glaciare (fig. X.19).

- *Aureolele eluviale* se formează „in situ” în regiuni cu relief puțin accidentat. Zona anomală este restrînsă ca extindere, are o poziție simetrică față de zăcămint, iar concentrațiile maxime se situează chiar deasupra sursei primare. Au fost utilizate pentru detectarea unor concentrații de aur, casiterit, wolframit, ceruzit ș.a.

— *Aureolele deluviale și proluviale* rezultă prin deplasarea pe mici distanțe a materialului dezagregat, el concentrându-se pe pantă, de unde și forma alungită a zonelor anormale; concentrațiile maxime se află, prin urmare, în aval de poziția corpului de minereu, considerat ca sursă primară.

— *Aureolele aluvionare* iau naștere în urma transportului pe distanțe mai mult sau mai puțin lungi față de sursa primară, a sortării și depunerii materialului insolubil de către apele rețelei hidrografice; ele se caracterizează printr-o formă liniară. În prin-

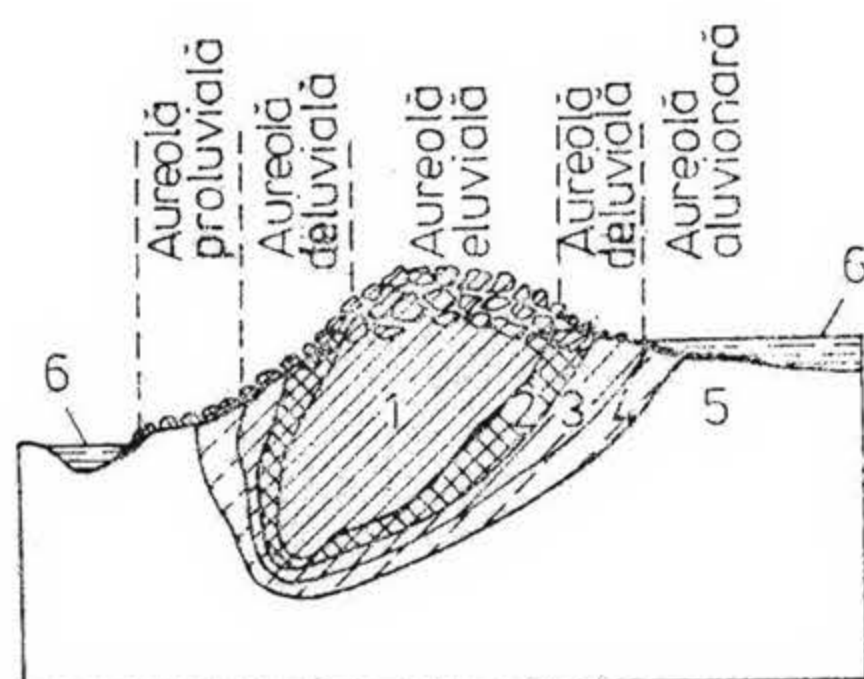


Fig. X.19. Aureole de dispersie secundară, mecanică:
1 — zăcămint; 2, 3, 4 — aureolă geochimică primară; 5 — roca gazdă; 6 — rețea hidrografică.

ciupiu, sursa primară a acestor aureole este localizată în apropiere de cota cea mai ridicată pînă la care s-a detectat aureola geochimică de-a lungul unei văi.

— *Aureolele glaciare* constituie zone de dispersie în apropierea zăcămintelor sau aureolelor primare antrenate de ghetari. De regulă au forma de evantai și ca extindere nu depășesc 1—2 km, în medie. În Scandinavia au fost conturate aureole glaciare ale unor zăcămintele de Cu, Zn, Pb, Fe, Mn, iar în Canada ale unor importante concentrații de Fe.

Aureolele hidrogeochimice apar ca urmare a trecerii mineralelor instabile în soluții apoase sau suspensii coloidale, sub acțiunea apelor de infiltrație supergenă sau celor din pînza freatică. Extinderea lor depinde de capacitatea de migrare a elementelor în soluție, iar forma este de regulă liniară. Identificarea lor se face pe baza conținutului de SO_4^{2-} , de Cl^- , a diferitelor elemente metalice și a pH-ului.

Aureolele pedogeochimice rezultă din solubilizarea unor minerale și migrarea elementelor în sol. Dezvoltarea lor este determinată de natura, compoziția și textura soluției, de valoarea pH-ului, de climă, de activitatea biologică, de relief etc. Ele iau naștere deasupra mineralizațiilor, au extinderi mari și prezintă în general un contrast puternic. În mod obișnuit, aureolele de dispersie din soluri pun în evidență o suprapunere a celor două tipuri de aureole pedogeochimice, singenetice și epigenetice, care se caracterizează printr-o accentuare a contrastului dintre fond și anomalii.

Cele mai multe aureole de dispersie secundară în soluri, identificate la noi în țară, sînt de tip singenetic (ex. în Munții Țibleş, în Munții Drocea, în Munții Poiana Ruscă la Muncelul Mic).

Aureolele biogeochimice sînt legate de plantele care se dezvoltă pe aureolele primare sau secundare din roci, ape și sol, formate în jurul corpurilor de substanțe minerale utile, care pot încorpora anumite elemente metalice (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, U, Au) în proporții mult mai mari decît plantele din zone fără mineralizații. Asimilarea elementelor de către plante poate conduce, în unele cazuri, la concentrații

excesive care să provoace apariția unor aspecte patologice (teratologice): dezvoltări anormale, modificarea culorii frunzelor, abundența unor specii sau dispariția altora etc. Aceste aspecte reprezintă premise pentru prospecțiunea geobotanică și pentru prospecțiunea biogeochimică.

În general aureolele secundare au extindere mai mare în suprafață decît aureolele primare și, deci, pot fi mai ușor identificate și conturate prin lucrări de prospecțiune geochimică. Pentru localizarea corpurilor mineralizate sînt, însă, necesare cercetări minuțioase, deoarece conținutul în elemente chimice este mult mai variabil decît în cazul aureolelor primare. În cadrul aureolelor secundare se pot distinge: *aureole semnificative* cu concentrații mari sau concentrații reduse — care au o legătură cu sursa mineralizată și *aureole nesemnificative*, care nu au relații cu zone mineralizate și se datoresc contaminărilor, erorilor în colectare și analize etc.

Interpretarea aureolelor de dispersie trebuie făcută în strînsă corelație cu observațiile geologice. Identificarea aureolelor suprapuse, separarea celor semnificative de cele nesemnificative, ca și selecționarea celor de interes practic, cu perspective de a identifica corpul de minereu sursă, asigură elaborarea unui program de cercetare cu lucrări miniere sau de foraj.

1.2. INDICATORI ÎN PROSPECȚIUNEA GEOLOGICĂ

Informații privind existența unor concentrații de substanțe minerale utile, într-o anumită structură geologică, se pot obține prin intermediul: 1) *indicatorilor naturali*, care au la bază elemente legate atît de cortegiul de fenomene metasomatice, imprimate în rocile înconjurătoare în momentele formării concentrațiilor de substanțe minerale utile, cît și de evoluția ulterioară a acestor concentrații, sub acțiunea proceselor de alterație, cînd rezultă aureolele de dispersie secundară; 2) *indicatorilor proveniți din alte surse*, cum sînt documentațiile geologice, muzeele geologice și populația localnică, privind activitatea geologică și minieră în trecut sau chiar existența unor ocurențe de mineralizații în regiunea ce urmează a fi prospectată.

1.2.1. INDICATORI NATURALI

Aceștia pot oferi informații directe sau indirecte asupra prezenței unor substanțe minerale utile în regiunea în care se execută lucrări de prospecțiune, în funcție de gradul de înrudire a elementelor examinate cu corpul de minereu.

Informațiile directe sînt date de: aflorimentele de substanțe minerale utile; zonele de oxidare ale corpurilor de substanțe minerale utile; fragmentele cu minerale utile; concentratele de minerale grele; mîlurile din albia cursurilor de ape; izvoarele de ape minerale.

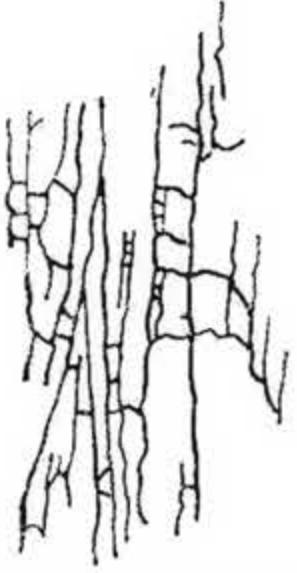

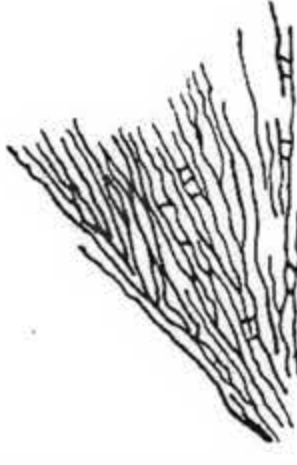
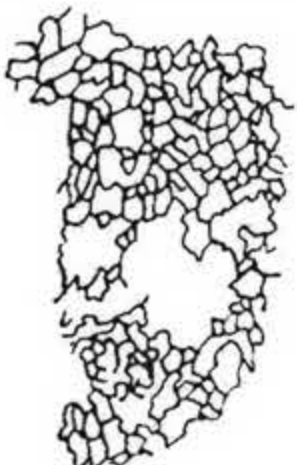
— **Aflorimentele de substanțe minerale utile** sînt primele informații și cele mai certe, referitoare la existența unor concentrații de substanțe minerale utile.

— **Zonele de oxidație ale corpurilor de minereuri** constituie surse de indicații directe prin aspectele texturale, compoziția mineralogică, compoziția chimică și culoarea pămînturilor de fier.



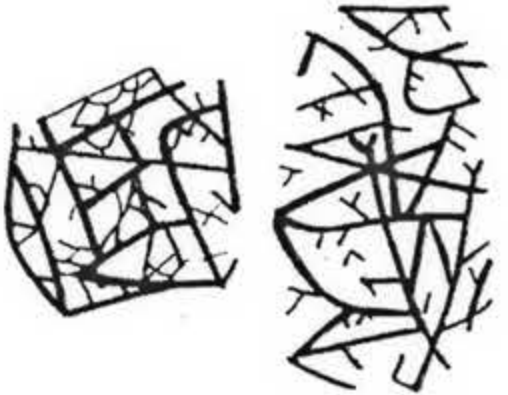
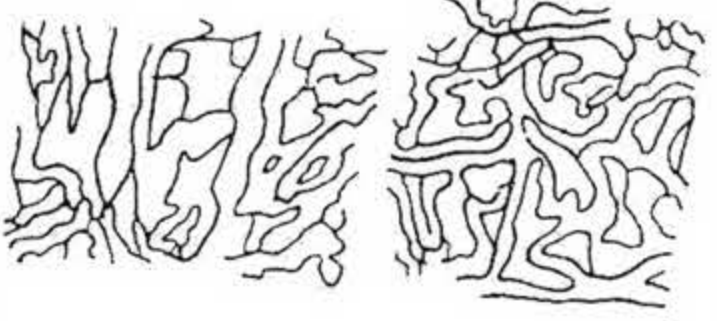

Aspectele texturale ale pămînturilor de fier, extrem de variate, sînt caracteristice pentru recunoașterea tipurilor de minerale primare care au fost transformate în zona de oxidație (tabelul X.2); frecvența vacuolelor pămîntului de fier poate oferi o primă

Tabelul X.2

Aspecte texturale ale pĂlĂriei de fier

Mineralul primar	Textura	Caracteristici
1	2	3
Galenă		Pereții laterali sînt rectilinii, paraleli, urmăresc liniile de clivaj ale galenei și sînt constituiți din limonit silicios; perpendicular pe acest sistem apar lamele paralele și discontinue, care nu depășesc 1 mm lungime; grosimea pereților este de 0,05–0,5 mm
		Pereții laterali sînt divergenți
		Pereții au o dispoziție radiară
Blendă		Aspectul unui burete

Tabelul X.2 (continuare)

1	2	3
		Pereții laterali sînt constituiți din vinișoare de cuarț, uneori cu pigment limonitic, dispuse în fascicule paralele; legătura dintre pereții laterali se face prin diferite sisteme de lamele
Calcopirită		Asemănătoare cu ale blendei; lungimea pereților redusă, vinișoarele de cuarț sînt paralele, iar pereții transversali sînt mai puțin rezistenți; depuneri de limonit pe pereți și în vacuole
Bornit		Vacuolele au formă triunghiulară (1–10 mm) și conțin limonit; grosimea pereților este de 0,05–0,5 mm
Tetraedrit		Pereții sînt continui și rezistenți; forma generală amintește de curbele de nivel ale unui relief accidentat
Molibdenit		Pereții au aspectul unor foițe care urmăresc clivajul după fața de pinacoid

imagine privind raportul dintre mineralele metalice și nemetalice (ganga) aflate în zona primară a corpului de minereu.

Unele minerale metalice primare dintr-un corp de minereu se pot conserva chiar la nivelul zonei de oxidație, evitând alterația, datorită depunerii de minerale secundare pe suprafața lor; este cazul galenei, care poate fi protejată de o crustă de anglezit sau ceruzit. Identificarea unor astfel de minerale oferă indicații directe asupra tipului de mineralizație existentă în zona primară. Informații, în acest sens, pot da și mineralele secundare tipomorfe, formate în cuprinsul zonei de oxidație. Astfel, depunerile de annabergit și eritrină trădează, aproape fără excepție, existența arseniurilor de cobalt și nichel în adâncime, în zona primară; prezența malachitului, azuritului, cupritului, tenoritului sau calcantitului indică o mineralizație primară de sulfuri de cupru. Tipul de mineralizație existent în zona primară a unui corp se poate preciza și pe baza analizelor chimice sau spectrale, executate pe bucăți de minereu prelevate din zona de oxidație.

Culorile mineralelor oxidate, din zona de afloriment (tabelul X.3), permit recunoașterea și conturarea pălăriei de fier, identificarea mineralelor secundare, tipomorfe și, prin acestea, a paragenezelor de minerale metalice din zona primară a corpului de minereu; conturarea pălăriei de fier este ușurată nu numai de contrastul de culoare față de formațiunile înconjurătoare, dar și de larga sa extindere în suprafață, mai mare decât a corpului de minereu, ca urmare a dispersiei puternice a elementelor în timpul procesului de oxidare.

— **Fragmentele cu minerale utile** din aureolele de dispersie mecanică, provenite prin alterația supergenă a corpurilor de substanțe minerale utile, dau informații directe asupra tipului de mineralizație, prin examinarea paragenezelor de minerale, ca și asupra

Tabelul X.3

Culorile pălăriilor de fier

Culoarea	Minerale oxidate	Culoarea	Minerale oxidate
Galben, brun, maro, roșu	Mineralele limonitice, sulfati	Verzui	Annabergit, garnierit
Verde, albastru	Carbonați, sulfati, silicați	Galben	Bismutit
Negru	Oxizi și hidroxizi de mangan	Galben deschis	Molibdit, wulfenit
Roz	Eritrină	Galben portocaliu Galben deschis, roșu	Cervantit, senarmontit Plumbojarosit

distanței până la afloriment. În acest din urmă caz, se examinează dimensiunea și aspectul exterior al fragmentelor; în apropiere de afloriment se depun fragmentele groșiere și cu greutate specifică mare, pentru ca acelea transportate la distanțe mai mari

să fie rotunjite și cu dimensiuni mai mici (fig. X.20). Dacă se determină *coeficientul de rotunjire* (k) al fragmentelor de minereu, se poate aprecia distanța până la afloriment.

$$k = \frac{R}{r},$$

unde: R este raza de curbura maximă a fragmentului; r — raza de curbura minimă a fragmentului.

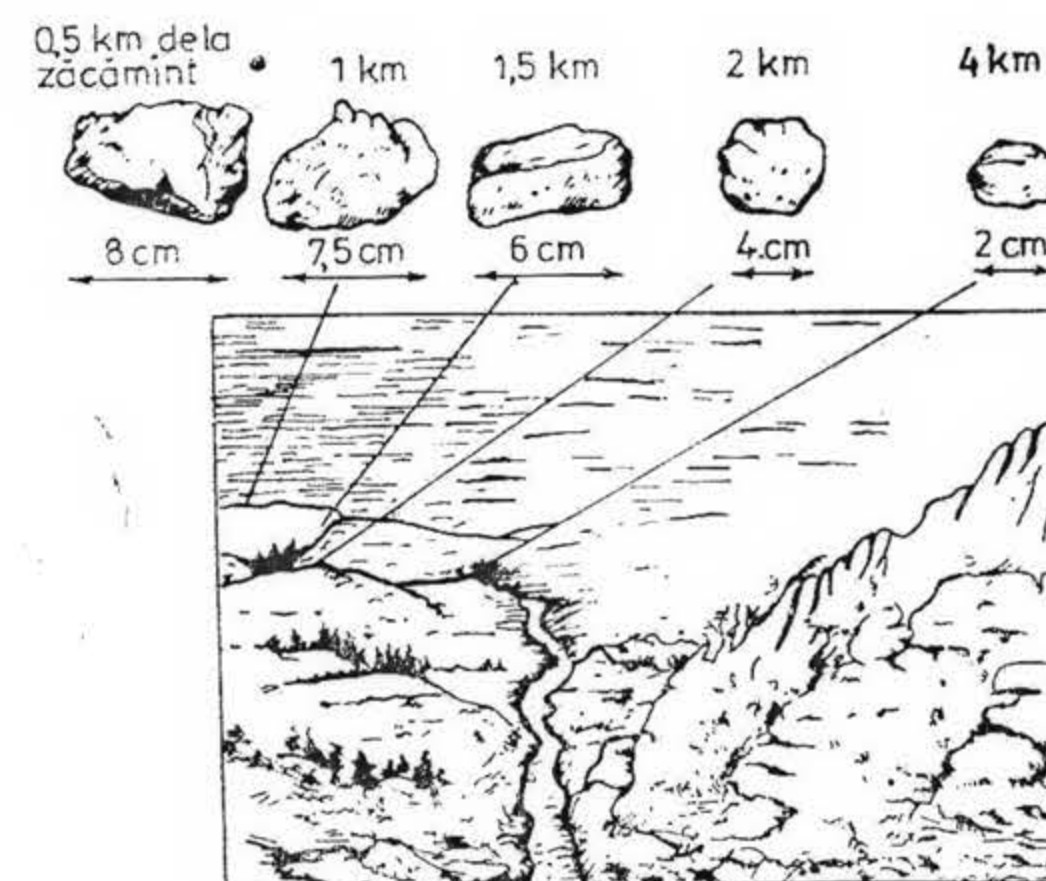
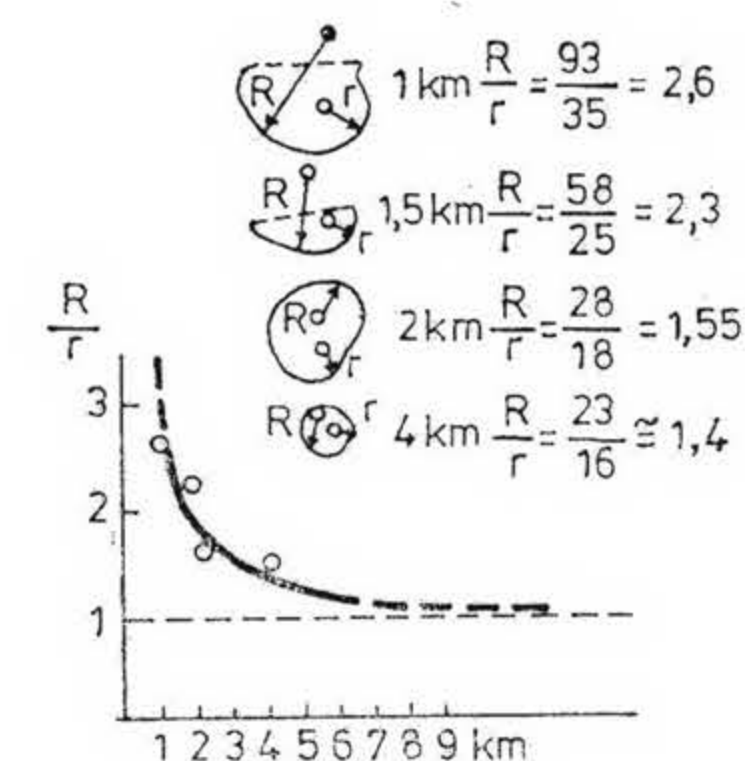


Fig. X.20. Aspectele fragmentelor de minereu transportate la diferite distanțe de afloriment.

Fig. X.21. Variația coeficientului de rotunjire (k)

Variația coeficientului de rotunjire, în funcție de distanța la care au fost transportate fragmentele de minereu, este redată ca exemplu în fig. X.21; se observă tendința fragmentelor de a deveni sferice, la distanțe mari de afloriment, când valoarea coeficientului se apropie de unitate.

— **Concentratele de minerale grele**, obținute prin prelucrarea probelor prelevate din aureolele de dispersie mecanică (aluviale, deluviale, eluviale), oferă două categorii de indicații: *directe*, prin mineralele metalice identificate în concentrat (aur, platină, magnetit, ilmenit, zircon, monazit, cromit, diamant etc.) și *indirecte*, pe baza mineralelor nemetalice, tipomorfe, determinate în concentrat (de exemplu beril, turmalină și topaz care pot indica mineralizații de staniu și wolfram).

— **Milurile din albia cursurilor de ape** pot fi indicatoare prin proprietatea lor de a reține unele elemente (Pb, Cu, Co etc.), prin sorbție sau schimb de ioni, mobilizate din corpurile de minereuri levigate. În componența milurilor apar și asociații de minerale secundare (malachit, ceruzit, psilomelan, minerale limonitice etc.), antrenate din zonele de oxidație ale zăcămintelor primare de către apele curgătoare; este o altă sursă de informații cu privire la existența unor mineralizații în regiune.

— **Izvoarele de ape minerale și chiar apele din cursurile râurilor** sînt indicatoare uneori prin conținutul ridicat în componenți metalici, ca urmare a levigării unor corpuri de minereuri sau a aureolelor de dispersie ale acestora. În general, se consideră

că conținuturile mai ridicate în anumite elemente, față de fondul hidrogeochimic, valorile mai scăzute ale pH-ului și valorile mai mari ale ionului sulfat în raport cu cele ale ionului de clor ar indica apropierea de zona mineralizată.

Informațiile indirecte sînt oferite de: metasomatitele din jurul corpurilor de minereuri; plantele indicatoare; aspectele patologice ale plantelor; unele forme de relief.

— **Aureolele de metasomatite din jurul corpurilor de minereuri** au o valoare deosebită pentru prospecțiunea geologică, ele constituind un indicator metalogenetic. Dintre metasomatitele cu rol indicator menționăm: skarne și periskarne, greisene, luxulianite, albitite și metasomatite cu feldspat potasic și biotit, cu care se asociază mineralizații pirometasomatice și hidrotermale de temperatură ridicată; metasomatite filice (cuart + sericit), uneori cu aspectul lor particular de berezite, cuarțite secundare și jasperoide, metasomatite argilice, metasomatite cu clorit, metasomatite cu adular, metasomatite cu baritină, metasomatite cu alunite, listvenite și metasomatite carbonatice, însoțite de mineralizații hidrotermale de temperatură medie și scăzută. Unele produse metasomatice sau depuneri la nivelul fisurilor (ca de exemplu acelea legate de propilitizare, spilitizare, serpentinizare, zeolitizare) pot avea extinderi regionale și preced sau succed, ca moment de apariție, procesul de metalizare; ele nu constituie indicatori metalogenetici.

Primele metasomatite sînt surse de informații asupra existenței unor mineralizații în structura geologică prospectată, prin mineralele tipomorfe pe care le conțin (tabelul X.4). Distribuția zonală a variatelor tipuri de metasomatite, pentru care unele mineralizații manifestă anumite preferințe, completează elementele de informație în

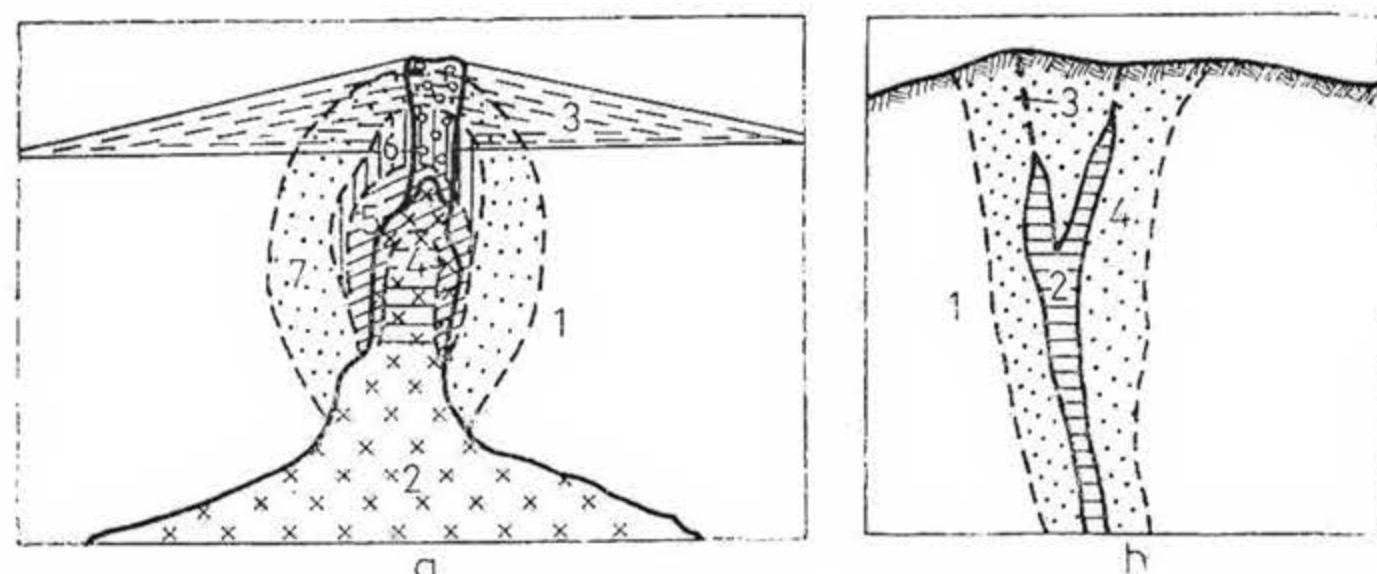


Fig. X.22. Distribuția zonală a metasomatitelor:

a — în cazul unor mineralizații de tip „porphyry”: 1 — formațiuni înconjurătoare; 2 — stoc de granodiorite porfirice; 3 — stratovulcan; 4 — metasomatite potasice (neoformațiuni de feldspat potasic și de biotit); 5 — metasomatite filice; 6 — metasomatite argilice; 7 — metasomatite propilitice (după Sillitoe, 1973, cu modificări);
b — în cazul unor mineralizații filoniene: 1 — formațiuni înconjurătoare propilitizate; 2 — filon; 3 — fractură în extinderea filonului, fără mineralizații; 4 — alterații hidrotermale filice, formate pe un fond de roci propilitizate.

acest sens; o astfel de imagine obținută prin studii de detaliu permite a realiza și prognoza modificărilor calitative pe verticală sau o dezvoltare în adâncime a unui anumit tip de mineralizație (fig. X.22).

— **Plante indicatoare** sînt acele plante a căror dezvoltare într-o anumită regiune este controlată de prezența unor mineralizații. Identificarea acestor plante constituie o primă indicație pentru recunoașterea zonelor mineralizate. Dintre plantele indica-

toare reținem: *Polycarpaea spirostylis* și *Melandrium dioicum* pentru cupru; *Viola calaminaria*, *Viola tricolor*, *Thlaspi calaminare*, *Tomanteria auriculata* pentru zinc; *Amorpha canescens* pentru plumb; *Equisetum arvense* pentru aur; *Astragalus pattersonii* pentru vanadiu și uraniu.

Tabelul X.4

Unii indicatori metalogenetici

Tipuri de metasomatite	Tipuri de mineralizații	Tipuri de metasomatite	Tipuri de mineralizații
1. Skarne	Fe, Sn, W, Mo, Bi, Pb, Zn, Cu, Au	5. Minerale tipomorfe din greisene:	
2. Minerale tipomorfe din skarne:		Topaz și turmalină	Sn
		Turmalină	Sn și sulfuri
		Fluorină	W
		Muscovit și fluorină	Mo
Andradit	Fe, Pb, Zn, Co	6. Metasomatite filice, metasomatite cu feldspat potasic și biotit	Cu (Mo, Au) tipul porphyry
Andradit-grosular	Cu, W		
Grosular	W		
Grosular și vezuvian	Mo, W	7. Berezite	Au
Wollastonit	Bi	8. Cuarțite secundare	Cu, Au-Ag în roci eruptive sau Au tip Carlin în asociație cu As, Sb, în roci carbonatice
Mn-hedenbergit	Pb, Zn, Cu		Pb, Zn, baritină, witherit
Ludwigit, kotoit, asharit	B		Pb, Zn sau Sb, Hg
3. Greisene	Sn, W	9. Metasomatite cu baritină	Cu, Au
4. Albitite	Zr, Nb, TR, Th	10. Jasperoide	
		11. Listvenite	

— **Aspectele patologice ale plantelor** (plante pitice, plante gigantice, dispariția vegetației, frecvența mare a unor specii de plante, modificarea culorii frunzelor etc.), determinate de prezența sau absența unor ioni în roci și în sol, reprezintă de asemenea elemente indicatoare pentru recunoașterea unor zone cu mineralizații. Astfel, dacă într-o regiune cu formațiuni identice și cu o vegetație specifică apar modificări vizibile în modul de dezvoltare a unor plante, acestea pot sugera existența unor concentrații de substanțe minerale utile în structura geologică prospectată, ca element perturbant de la aspectul normal.

— **Unele forme de relief** atrag atenția, prin modul lor de prezentare, asupra anumitor zone posibil purtătoare de mineralizații. Este cazul *formelor de relief pozitive* date de corpurile de minereuri cu rezistență mai mare la alterația supergenă decât rocile

înconjurătoare, ca, de exemplu, filoanele cuarțoase hidrotermale, filoanele de pegmatite, cuarțitele secundare, adesea mineralizate, cuarțitele cu magnetit (fig. X.23). În situații similare se află și *formele de relief negative* produse prin eroziunea mai avansată a unor corpuri de minereuri față de rocile înconjurătoare (fig. X.24) sau prin tasări,

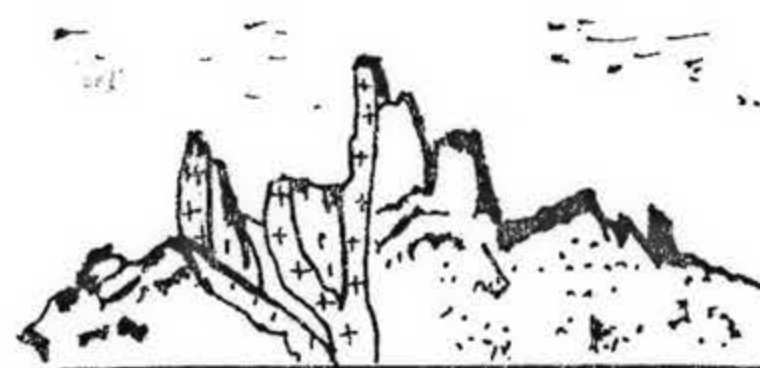


Fig. X.23. Formă de relief pozitivă produsă prin eroziune.

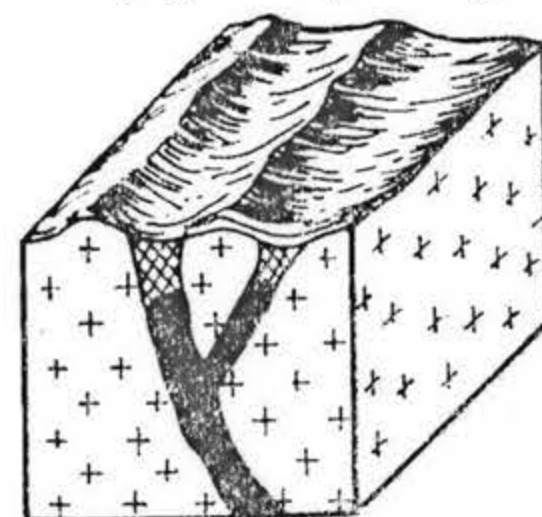


Fig. X.24. Formă de relief negativă produsă prin eroziune:

1 — granite; 2 — minereu oxidat; 3 — minereu primar.

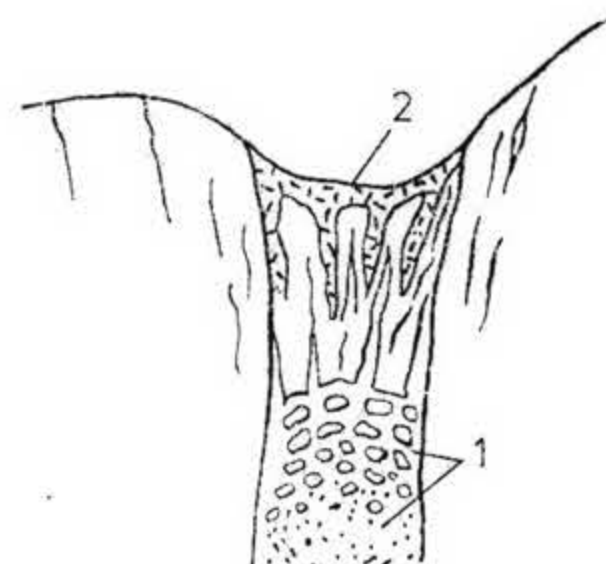


Fig. X.25. Formă de relief negativă produsă prin prăbușire locală:

1 — minereu oxidat în partea superioară a unui filon cu sulfuri nedeschis de eroziune; 2 — zona superioară rezultată prin prăbușire ca urmare a oxidării minereului.

chiar prăbușiri locale (fig. X.25), ca urmare a fenomenelor de oxidare a sulfurilor, ca și a existenței unor cavități subterane legate de procesul de dizolvare a rocilor carbonatice de către apele de circulație subterană.

1.2.2. INDICATORI PROVENIȚI DIN ALTE SURSE

Documentațiile geologice, muzeele geologice și populația localnică dau, asupra unei regiuni, informații privind activitatea geologică și minieră în trecut, unele ocurențe de mineralizații și gradul lor de cercetare. În acest sens, datele obținute prin astfel de surse sînt examinate pe teren, urmărind îndeaproape elementele care le pot oferi lucrările miniere vechi cu haldele lor, urmele de furnale și chiar semnificația denumirii unor localități, văi, dealuri și trecători, desigur, în strînsă corelație cu geologia regiunii.

Lucrările miniere vechi (șanțuri, puțuri, galerii) și haldele lor, existente pe diferitele planuri din documentațiile geologice, pot oferi o serie de informații asupra unor mineralizații cercetate în trecut într-o anumită regiune.

Astfel, din dispunerea în spațiu a lucrărilor de cercetare, corelată cu imaginea structurală a regiunii, se pot obține următoarele date asupra unui filon sau corp de minereu alungit: direcția și înclinarea (fig. X.26); dislocarea pe direcție prin inter-

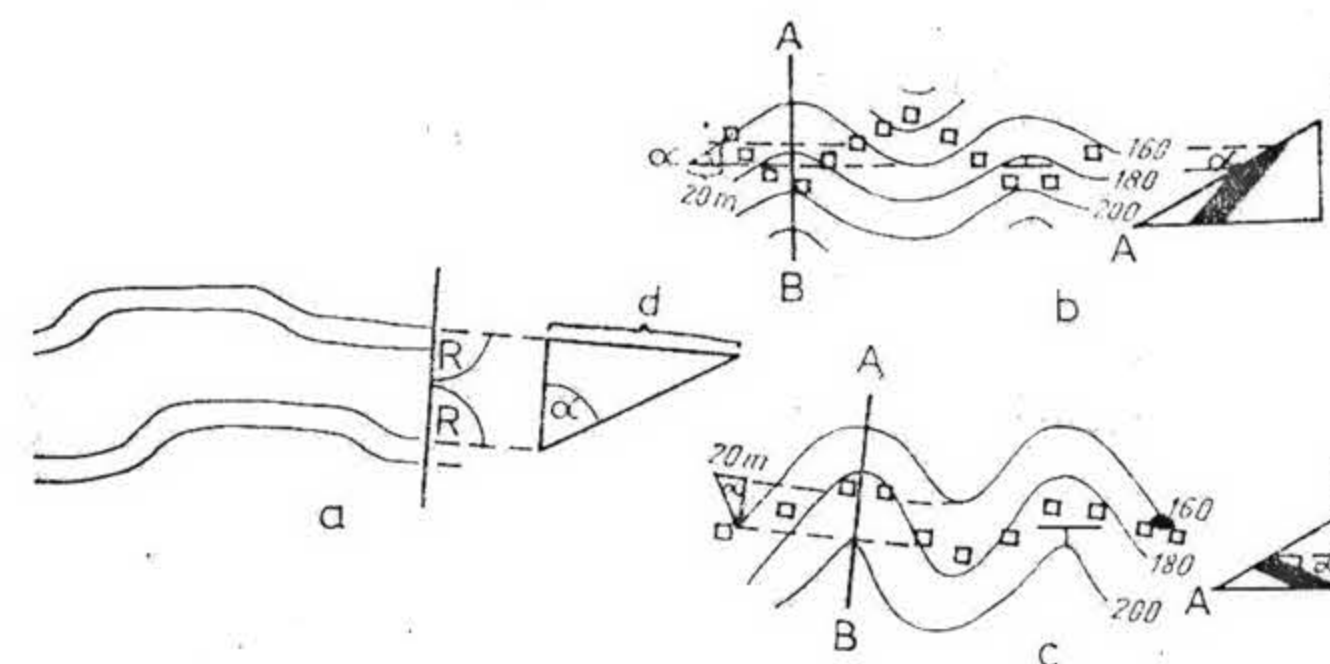


Fig. X.26. Determinarea direcției și înclinării unor filoane pe baza a două galerii săpate la nivele diferite (a) sau a unor aliniamente de puțuri orientate diferit în spațiu (b și c): d — distanțele verticale între cele două nivele de galerii; α — unghiul de înclinare al filonului.

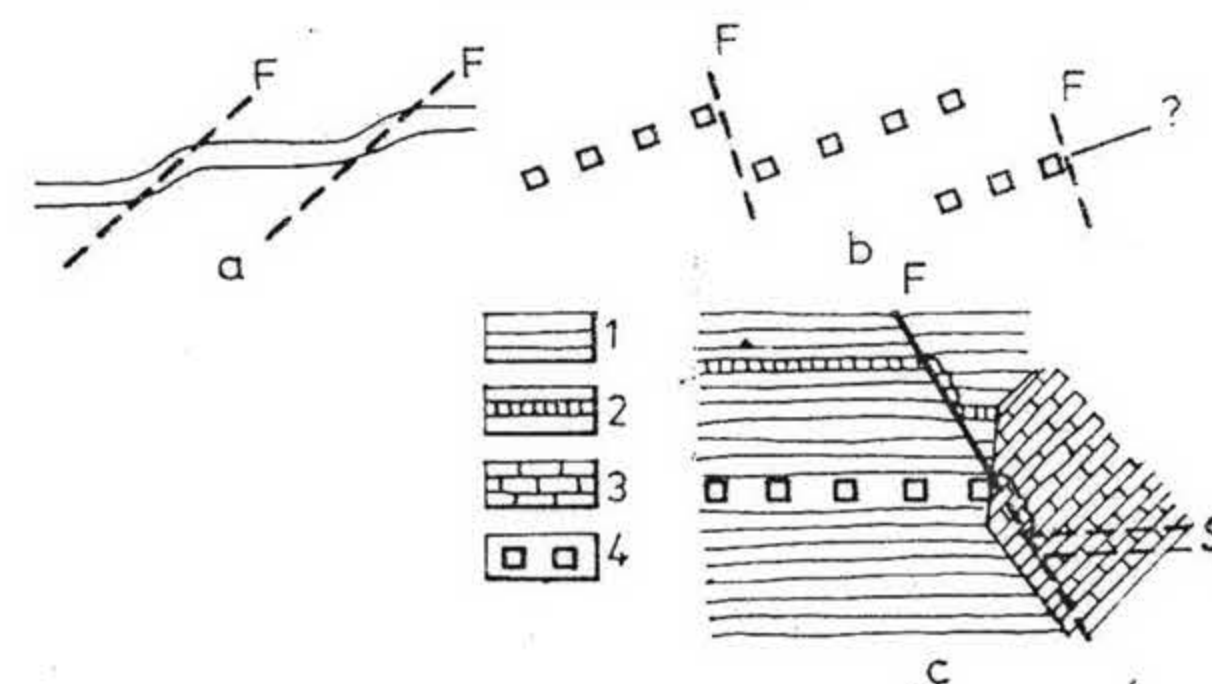


Fig. X.27. Identificarea unor falii urmărind modificarea direcției unor galerii (a) sau dispunerea în spațiu a unor linii de puțuri de cercetare (b și c): 1 — formațiuni cristalofiliene; 2 — amfibolite, nivel reper pentru identificarea faliei; 3 — formațiuni carbonatice mezozoice; 4 — puțuri dispuse pe aliniamente pentru cercetarea unui filon; S_f — segment de filon deplasat prin intermediul faliei și acoperit de rocile carbonatice; F — falie.

mediul unor falii (fig. X.27); existența unor porțiuni sterile pe direcția filonului sau corpului de minereu (fig. X.28); terminația prin ramificare sau dislocare pe o anumită porțiune, urmată de posibilitatea reparației corpului de minereu (fig. X.29).

Din poziția haldelor și a gurilor de galerii, corelată cu aspectele morfologice ale regiunii și cu caracterele mineralogice ale fragmentelor de minereu și roci din halde,

rezultă informații asupra direcției și înclinării (fig. X.30) unui filon, dislocării acestuia de către o falie (fig. X.31) și existenței unei zone de oxidație (fig. X.32); se poate reconstitui necesitatea rocilor traversate de o galerie, ca și poziția mineralizației în coloana litologică (fig. X.33).

Raportul dintre profilul galeriilor și dimensiunile haldelor oferă indicații referitoare la grosimea zăcămintului: lucrările miniere cu profil mic și cu halde de dimen-

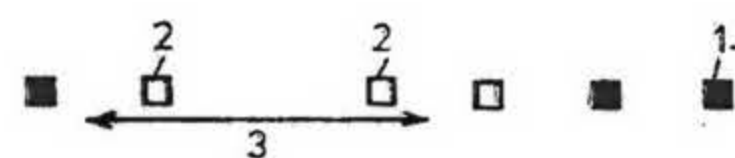
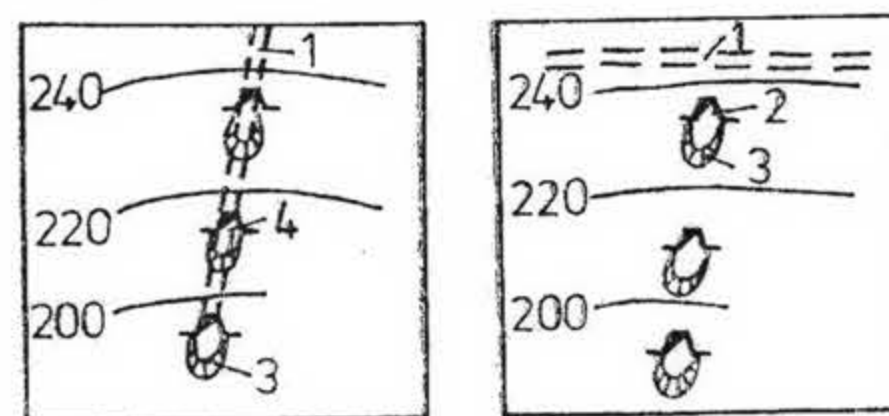
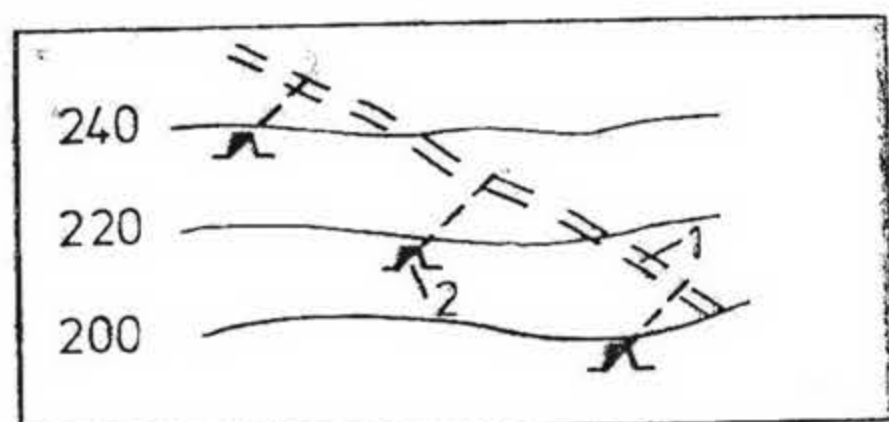


Fig. X.28. Identificarea unor porțiuni sterile pe direcțiile filonului urmărind dispunerea în spațiu a puțurilor de cercetare (după Kuzvarț și Böhmer, 1978, cu completări):

1 — puțuri care au interceptat corpul de minereu; 2 — puțuri care indică porțiuni sterile; 3 — extinderea zonei sterile.



a

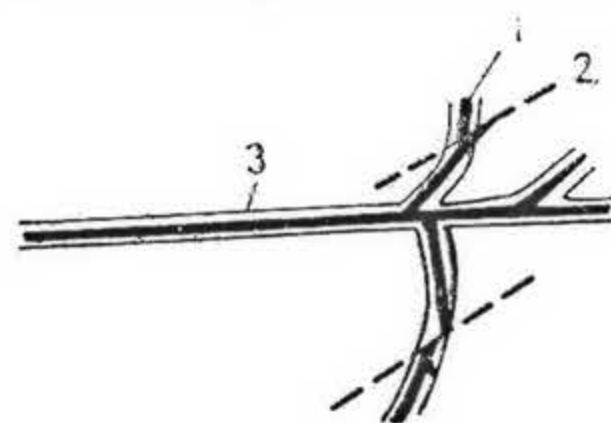
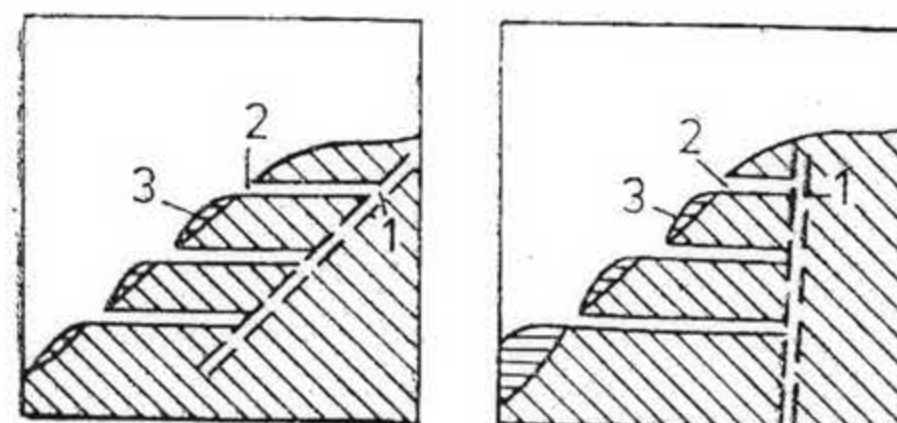


Fig. X.29. Recunoașterea unei terminații prin ramificare sau a unei dislocări cu caracter local a corpului de minereu, urmărind aspectul general al unei galerii:

1 — filon; 2 — falie; 3 — galerie.



b

Fig. X.30. Recunoașterea orientării unui filon urmărind poziția haldelor și galeriilor:

a — plan orizontal de suprafață cu amplasamentul galeriilor și direcția filonului; b — secțiune verticală în care se văd galeriile transversale și înclinarea filonului.

1 — filon; 2 — galerii transversale; 3 — haldă; 4 — galerii direcționale de coastă.

siuni mari, constituite în cea mai mare parte din steril, indică un zăcămint cu grosime redusă sau eventual un minereu cu un conținut scăzut, în componenți utili; lucrările

miniere cu profil mare și cu halde de dimensiuni mici, în care mineralizația este abundentă, denotă un corp de minereu cu grosime importantă și cu conținut ridicat în componenți utili.

Urmele de furnale, care apar mai ales în apropierea zăcămintelor, constituie un mijloc sigur de a obține informații referitoare la natura substanțelor minerale utile

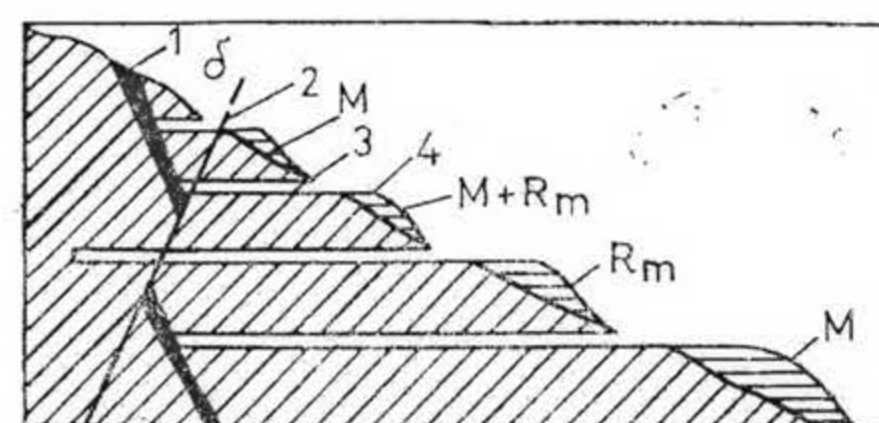


Fig. X.31. Recunoașterea unei falii care dislocă un filon, urmărind dispunerea fragmentelor de minereu și a rocilor milonitizate în halde (după Kuzvarț și Böhmer, 1978)

1 — filon; 2 — falie; 3 — galerie transversală; 4 — haldă cu fragmente de minereu (M) și roci milonitizate (R_m).

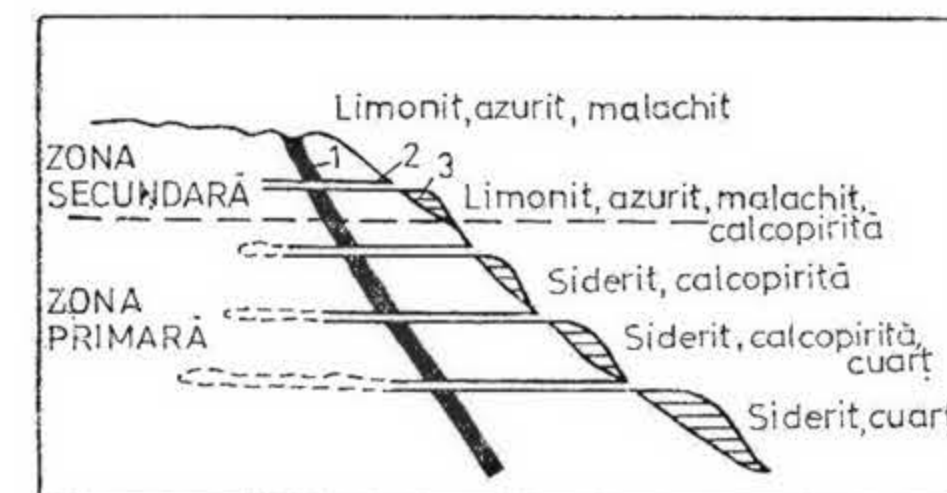


Fig. X.32. Recunoașterea unei zone de oxidație pe baza caracterelor mineralogice ale fragmentelor de minereu (după Kuzvarț și Böhmer, 1978):

1 — filon; 2 — galerie transversală; 3 — haldă cu fragmente de minereu.

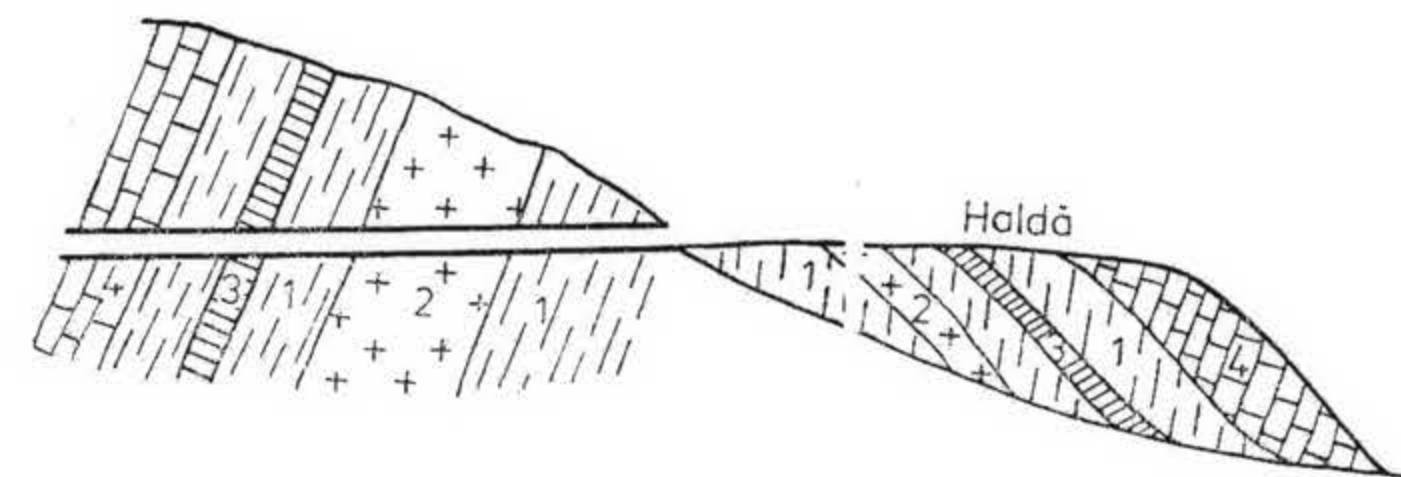


Fig. X.33. Reconstituirea succesiunii rocilor traversate de o galerie pe baza compoziției mineralogice a fragmentelor de minereu și roci din haldă:

1 — șisturi argiloase; 2 — andezite; 3 — minereu; 4 — roci carbonatice.

care au fost exploatate în trecut în regiune. Din compoziția mineralogică și chimică a zgurii rezultă concluzii privind caracterul mineralizației și modul de prelucrare a minereului.

Unele denumiri de localități, văi, dealuri și trecători sugerează fie existența unor exploatări vechi, fie anumite tipuri de substanțe minerale utile, cunoscute în trecut în regiunea care urmează a fi cercetată. Dintre aceste denumiri menționăm: Valea Fierului, Valea Roșie, Izvorul Băilor, Pîrîul Argintăriei, Băița, Baia, Băiuț, Roșia. ș.a.

1.3. METODE GEOLOGICE DE PROSPECȚIUNE

Metodele geologice sînt utilizate în prospectarea resurselor de substanțe minerale utile aflate în variate condiții geologice, dar mai ales a acelor deschise de eroziune.

În funcție de natura observațiilor se pot distinge următoarele metode geologice de prospecțiune:

- prospecțiunea prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale;
- prospecțiunea prin cartare geologică pe baza fragmentelor cu minerale utile;
- prospecțiunea prin cartare geologică pe baza concentratelor de minerale grele.

Elementul comun al acestor metode de prospecțiune este cartarea geologică, prin intermediul căreia se elaborează harta geologică, instrument de bază pentru interpretarea geologică a datelor de prospecțiune și, sprijinită de studiile de laborator, pentru conturarea conceptelor necesare cunoașterii perspectivelor și evidențierii unor substanțe minerale utile în structura geologică prospectată.

1.3.1. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ ÎN DESCHIDERI NATURALE ȘI ARTIFICIALE

Lucrările de prospecțiune efectuate prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale (dezveliri, șanțuri, tranșee, puțuri de mînă etc.) au ca obiectiv principal descifrarea structurii geologice și, prin urmare, a condițiilor geologice favorabile unor concentrații de substanțe minerale utile. În acest scop, cartarea geologică se execută pe hărți topografice la scara 1:25 000—1:20 000 în prospecțiunea preliminară și la scara 1:10 000—1:1 000 în prospecțiunea de detaliu.

Efectuarea cartării geologice. În cartarea geologică se urmărește cu prioritate descifrarea structurii geologice prospectate și identificarea formațiunilor purtătoare de substanțe minerale utile. Pentru aceasta se examinează toate rocile întîlnite în deschiderile naturale și artificiale, stabilindu-se raporturile dintre ele, caracterele petrografice și chimice, conținutul faunistic, poziția stratigrafică și în special acele particularități care le deosebesc sau le apropie unele de altele. Se cercetează amănunțit stratificația rocilor sedimentare și a rocilor slab metamorfozate (filită, șisturi sericitoase, șisturi cloritoase, cuarțite etc.), pseudostratificația intruziunilor bazice și ultrabazice, relațiile dintre planul de șistozitate și planul de stratificație la rocile epimetamorfice, poziția planului de curgere a lavelor, poziția și natura enclavelor din intruziune sau lave, poziția și caracterele petrografice ale produselor piroclastice din complexe vulcanogene, ca și budinajul, clivajul, sistemele de fracturi și falii. În general, astfel de investigații sînt dublate de analize microstructurale și microtectonice, care oferă elemente suplimentare pentru descifrarea structurii geologice.

În paralel cu cartarea geologică se examinează cu atenție elementele care dau indicații directe sau indirecte asupra existenței unor concentrații de substanțe minerale utile (v. 1.2. Indicatorii în prospecțiunea geologică). De regulă, concentrațiile de minerale utile sînt localizate pe planele de foliație și de linație din corpurile eruptive, bazice și ultrabazice, pe planele de stratificație și de șistozitate ale rocilor sedimentare și metamorfice, pe variate sisteme de fracturi și la intersecția acestora, în rocile cu per-

meabilitate mare, cu rol de capcană, în care procesele de metasomatoză și de umplere a golurilor sînt active, în zonele de exfoliere a cutelor etc.

Datele cartografice bazate pe observațiile directe în deschideri naturale și artificiale, și completate cu studiile de laborator, se reprezintă prin diferite simboluri pe harta topografică, conducînd în final la *harta geologică*. Cercetarea mai multor deschideri și întocmirea *coloanelor stratigrafice* sau *secțiunilor tip*, ca anexe ale hărții geologice, oferă o imagine asupra succesiunii stratigrafice și asupra variațiilor laterale privind litologia, intensitatea mineralizației și grosimea formațiunilor prospectate. Corelarea între diferitele strate sau chiar formațiuni purtătoare de substanțe minerale utile se realizează pe baza caracterelor petrografice, fosilelor caracteristice și poziției față de un orizont reper dintr-o succesiune stratigrafică; în cazul cînd nu există alte elemente indicatoare, corelarea devine posibilă pe baza asociației de elemente minore sau pe baza datelor de cronometrie absolută.

Luarea probelor. În paralel cu cercetarea deschiderilor naturale și artificiale se prelevează probe mineralogice, petrografice și chimice, necesare investigațiilor de laborator în scopul fundamentării interpretărilor geologice de teren; este o operație integrată cartării geologice.

Probele mineralogice și petrografice se iau în așa fel, încît să cuprindă asociațiile caracteristice de minerale din rocă sau mineralizația respectivă. Obişnuit se recoltează o probă mai mică pentru o secțiune subțire sau lustruită și una mai mare, care reprezintă proba martor. Din rocile sedimentare se prelevează și probe pentru analize granulometrice și paleontologice.

Probele chimice se iau din roci, în vederea studiilor petrochimice, și din mineralizațiile identificate, pentru stabilirea conținutului în componenți utili, principali și accesorii. În acest din urmă caz se iau *probe informative* (cu bucata), *probe prin brazde* sau *probe prin răzuire*, în funcție de caracterele texturale ale mineralizației (masiv, breccios, rubanat, impregnații, cuiburi, rețea de filonașe), de caracterul repartiției componentilor utili și extinderea zonei mineralizate.

Probele informative reprezintă bucăți de minereu sau de rocă cu minerale utile desprinse din diferite puncte ale aflorimentului sau deschiderii artificiale; greutatea acestora va fi de cîteva sute de grame. Probarea prin brazde constă din luarea unei cantități de material de-a lungul unui șanț orientat perpendicular pe zona mineralizată; lățimea șanțului va fi de circa 7 cm, iar adîncimea de 2—5 cm. Cantitatea de material prelevat se fărâmițează, se amestecă și apoi se reduce prin metoda sfertuirii; operația se repetă pînă cînd se obține o cantitate de cîteva sute de grame, necesară analizei de laborator. În probele luate prin răzuire intră întreg materialul detașat de pe suprafața mineralizată a deschiderii naturale sau artificiale; adîncimea de răzuire este de 3—5 cm, mai rar 10 cm, iar greutatea inițială a probei depinde de suprafața și adîncimea de răzuire.

Dacă probarea prin brazde se utilizează în cazul mineralizațiilor cu cele mai variate aspecte texturale și morfologice, ca și în cazul haldelor existente în regiunea prospectată, în schimb probarea prin răzuire se aplică la concentrațiile de substanțe minerale utile cu o repartiție foarte neuniformă a componentilor utili și la filonașele cu grosimi mai mici de 10 cm, indiferent de dispoziția lor în spațiu.

Întocmirea hărții geologice. Datele de teren conduc treptat la conturarea unităților cartografice (serii, complexe, orizonturi, corpuri eruptive etc.) și la trasarea limitelor dintre acestea pe harta topografică. Pe baza poziției stratificației, șistozității, linației și axelor de microcute sînt reprezentate elementele structurale ale regiunii (anticlinalale, sinclinalale, falii, linii de șariaj). Ocurențele de substanțe minerale utile

vor fi redade pe hartă și corelate cu elemente structurale și cu formațiunile înrudite genetic sau asociate spațial.

Probele prelevate sînt studiate în laborator sub aspect mineralogic (optic, roentgenografic, analiză termică diferențială, microscopie electronică, spectrografie, microsondă electronică, fluorescență în raze X), petrografic și chimic, în vederea definitivării hărții geologice și explicării genezei formațiunii purtătoare de concentrații de substanțe minerale utile și structurii geologice a regiunii. Conținutul în componenți utili se determină prin analiza chimică a probelor cu mineralizații.

Rezultatele obținute în urma elaborării hărții geologice, a întocmirii coloanelor stratigrafice, secțiunilor geologice, schițelor, bloc-diagramelor și, prin urmare, a interpretării datelor geologice constau în următoarele:

- identificarea unor concentrații de substanțe minerale utile;
- descifrarea structurilor geologice prospectate și aprecierea gradului de perspectivă a acestora privind existența unor substanțe minerale utile;
- conturarea zonelor în care urmează să se execute lucrări complexe de prospecțiune geologică, geofizică, geochimică și chiar geobotanică sau să se amplaseze lucrări miniere, uneori foraje, care să conducă la identificarea, în structurile geologice nedeschise de eroziune, a unor concentrații de substanțe minerale utile;
- interpretarea geologică a informațiilor obținute, prin utilizarea altor metode de prospecțiune.

1.3.2. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ PE BAZA FRAGMENTELOR CU MINERALE UTILE

Această metodă se bazează pe posibilitatea formării unor aureole de dispersie secundară ca urmare a acțiunii de dezagregare, transport și depunere la care sînt supuse zăcămintele de minereuri sau aureolele primare ale acestora.

În principiu, metoda constă în stabilirea frecvenței fragmentelor cu minerale utile din aureolele de dispersie mecanică (aluviale, deluviale, proluviale și glaciare) generate de corpurile de substanțe minerale utile, în scopul identificării și conturării zonelor în care apar zăcămintele *in situ*.

Cercetarea aluviunilor se realizează prin sfărîmarea cu ajutorul ciocanului a tuturor fragmentelor întîlnite și prin identificarea unor minerale utile (casiterit, cromit, magnetit etc.) sau a unor minerale indicatoare directe sau indirecte (beril, topaz, turmalină, ceruzit, anglezit etc.), privind existența în regiune a anumitor mineralizații.

După reperarea unor astfel de fragmente cu minerale utile se trece la stabilirea frecvenței acestora pe vale, în amonte și la conturarea aureolei dispersie mecanică. Dezvoltarea și persistența aureolelor aluviale depind de o serie de factori. Astfel, distanța de transport este direct proporțională cu viteza de curgere a apelor și înclinarea pantelor și invers proporțională cu dimensiunea materialului transportat și cu debitul apelor. În acest sens dimensiunile fragmentelor și gradul lor de rotunjire pot constitui o primă indicație asupra distanței pînă la afloriment, prin aceea că se consideră că zăcămintul se va găsi în zona în care acestea sînt mai colțuroase, mai mari și mai numeroase, adică în imediata apropiere a limitei superioare a aureolei mecanice.

În cazul unor depozite deluviale, proluviale și eluviale prospecțiunea preliminară se realizează în același mod ca și pentru aluviuni; după identificarea fragmentelor cu minerale utile, se trece la urmărirea frecvenței acestora pe pantă în sus de-a lungul unor aliniamente cu echidistanță de 5–10 m, orientate perpendicular pe o direcție reper sau de bază.

Pe harta topografică se redau prin simboluri diferite, în punctele în care au fost găsite fragmentele respective, mărimea acestora și tipurile de minerale utile pe care le conțin. Pe baza acestor date se conturează aureola de dispersie mecanică.

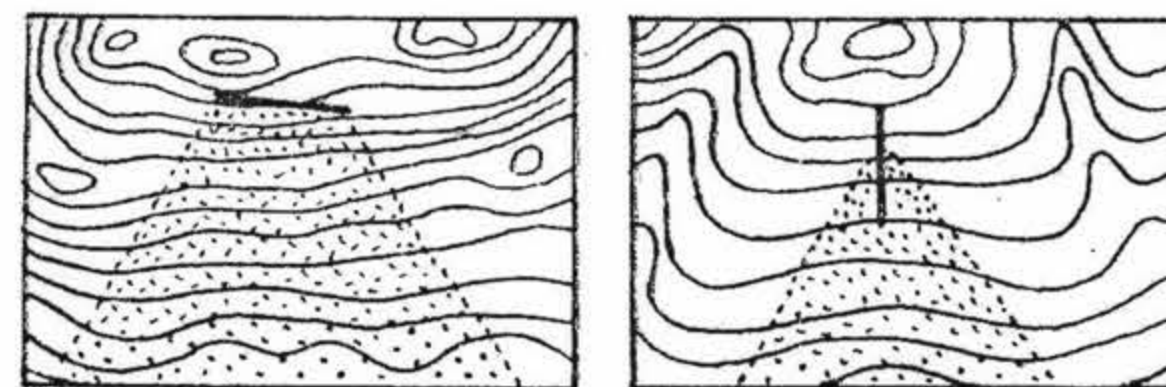


Fig. X.34. Forma aureolelor deluviale și proluviale:

Aureolele deluviale și proluviale au forme trapezoidale, triunghiulare sau liniare mai mult sau mai puțin continue și cu o dezvoltare asimetrică în raport cu poziția sursei care le-a generat (fig. X.34).

Aureolele eluviale se dezvoltă pe suprafețe restrinse și, în general, simetrice față de corpurile mineralizate.

În cercetarea depozitelor glaciare o atenție deosebită este acordată morenelor frontale, laterale și de fund, care reprezintă zonele cele mai favorabile pentru identificarea de fragmente cu minerale utile. Frecvența acestora se urmărește în lungul unor profile sau aliniamente transversale pe direcția de deplasare a ghețarului, la intervale de 1–1,5 km.

Aureola glaciară delimitată pe harta topografică, pe baza punctelor în care s-au găsit blocuri cu minereu, prezintă, în general, forma unui evantai în al cărui vîrf se situează, de regulă, corpul de substanță minerală utilă.

În toate cazurile menționate, identificarea zăcămintelor în zonele indicate de prospecțiunea prin cartare geologică a fragmentelor cu minerale utile se va face prin executarea de dezveliri, șanțuri și puțuri. Amplasarea judicioasă a acestor lucrări impune efectuarea în prealabil, în aceste zone, a unei cercetări prin metode geofizice sau geochimice.

1.3.3. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ PE BAZA CONCENTRATELOR DE MINERALE GRELE

Această metodă de prospectare geologică are în vedere determinarea frecvenței mineralelor grele în cadrul aureolelor de dispersie mecanică sau a depozitelor detritice formate pe seama zăcămintelor sau a aureolelor primare ale acestora. Ea poate evidenția pe de o parte existența unor concentrații detritice, iar pe de altă parte zonele care constituie sursa generatoare.

Mineralele rezistente la alterare sînt transportate, îndeosebi de ape, la distanțe mai mari sau mai mici față de sursă, în funcție de greutatea specifică și de dimen-

siunea acestora, precum și de viteza agentului de transport. Dacă primele două elemente prezintă valori mai ridicate, acumularea mineralelor se va realiza în apropierea aflorimentelor din care au provenit prin dezagregare. În cazul în care aceste elemente au valori mai scăzute, depunerea mineralelor se va face mult mai departe de aflorimente, în zonele unde au loc modificări ale vitezei de curgere a apelor (confluențe, meandre etc.).

În stadiul prospecțiunii preliminare se urmărește identificarea principalelor zone cu astfel de aureole de dispersie mecanică și a unor indicații privind existența mineralizației. Totodată se examinează asociațiile de minerale indicatoare care, printre altele, pot contribui la elucidarea unor procese petrogenetice și metalogenetice, precum și a adâncimii optime de recoltare a probelor.

În stadiul prospecțiunii de detaliu se conturează cât mai exact aureolele mecanice, astfel încât să se poată trage concluzii cu privire la posibilitatea de valorificare a acestora și la localizarea zăcămintelor.

Operațiile indispensabile acestei metode de prospecțiune sînt: probarea, examinarea concentratelor de minerale grele și întocmirea hărților.

Luarea probelor. Una din condițiile importante ale acestei operații este ca punctele de probare să acopere în mod uniform suprafața prospectată. În cazul probelor cu caracter informativ, pentru depozitele aluviale, acestea se iau cu lopata, direct din albia râurilor sau din gropi săpate la adâncimi cât mai mari. În situația unei cercetări sistematice, probele se colectează din șanțuri, puțuri și prin intermediul forajelor manuale amplasate pe aliniamente orientate perpendicular pe cursul râului. Numărul de probe pe 100 km² variază în funcție de scara la care se face prospecțiunea (100–500 probe pentru 1: 50 000, 1 200–2 500 probe pentru 1: 10 000 etc.).

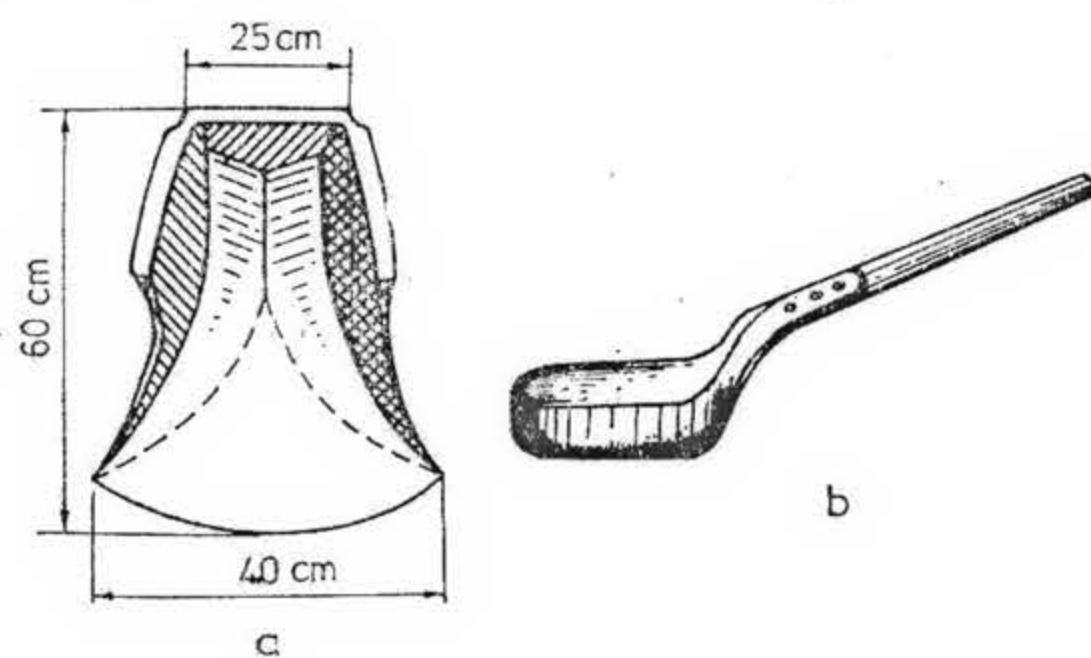


Fig. X.35. Șaitroc din lemn (a) și căuș de oțel (b).

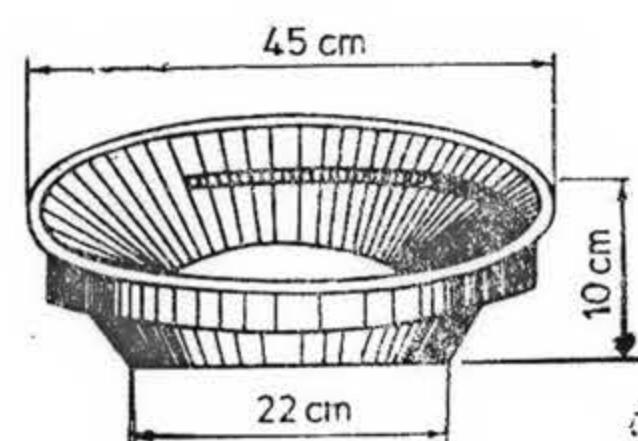


Fig. X.36. Troc Banka

Din depozitele deluviale, proluviale și eluviale, probele se colectează din gropi adânci de 30–50 cm, săpate la intervale de 25–50 m, pe aliniamente distanțate la 100 m sau mai apropiate (10–20 m și respectiv 30–50 m), în cazul unor cercetări mai detaliate.

Probele prelevate se cântăresc și apoi se spală cu ajutorul diferitelor tipuri de trocuri (șaitroc, căuș) când acestea nu depășesc greutatea de 2 kg (fig. X.35). Cantități mai

mari se pot spăla cu hurca, herdul sau trocul Banka (fig. X.36). Operația de spălare se execută în mai multe etape, până la obținerea concentratului de minerale grele în greutate de 10–15 g. În regiunile cu precipitații reduse se poate utiliza, pentru realizarea concentratelor de minerale grele, un curent de aer.

Examinarea concentratelor. Studiarea concentratelor de minerale grele se face în laboratoare, unde probele sînt supuse unei selecții pe fracțiuni, în vederea stabilirii naturii mineralelor grele, a frecvenței acestora și a sursei de proveniență.

Inițial probele sînt analizate informativ prin metode spectrale, radioactive și în imersie; urmează analiza granulometrică pe baza căreia se realizează diferitele fracțiuni de minerale ce vor fi supuse la separări magnetice, electromagnetice și cu ajutorul lichidelor grele. Fiecare fracțiune este examinată la binocular sau la microscop, pentru a stabili compoziția mineralogică, paragenzele și frecvența mineralelor utile.

Întocmirea hărților. Datele rezultate din studiile de laborator se reprezintă pe un plan topografic, la aceeași scară cu harta geologică, utilizînd metoda punctelor, metoda cercurilor sau metoda benzilor (fig. X.37).

În cazul primei metode locurile de probare sînt redată pe plan prin puncte, alături de care se trec inițialele mineralului util identificat; prin acest procedeu nu se pot obține informații referitoare la frecvența mineralelor utile (fig. X. 37, a).

În cazul celei de a doua metode, locurile de probare sînt marcate pe plan prin cercuri cu diametre proporționale cu greutatea concentratelor de minerale grele; suprafețele acestora sînt divizate în sectoare, în funcție de numărul și frecvența mineralelor utile (fig. X, 37, b).

Cea de a treia metodă presupune reprezentarea datelor sub forma unor benzi, lățimea acestora fiind direct proporțională cu frecvența mineralelor utile (fig. X. 37, c).

Ultimele două metode permit conturarea aureolelor de dispersie mecanică, pe baza cărora se pot delimita zonele de interes economic și localizarea surselor generatoare. În astfel de zone se execută dezveliri, șanțuri și puțuri. Pentru a spori eficiența acestor lucrări, amplasarea lor se va face după o prealabilă investigație geofizică și geochemică.

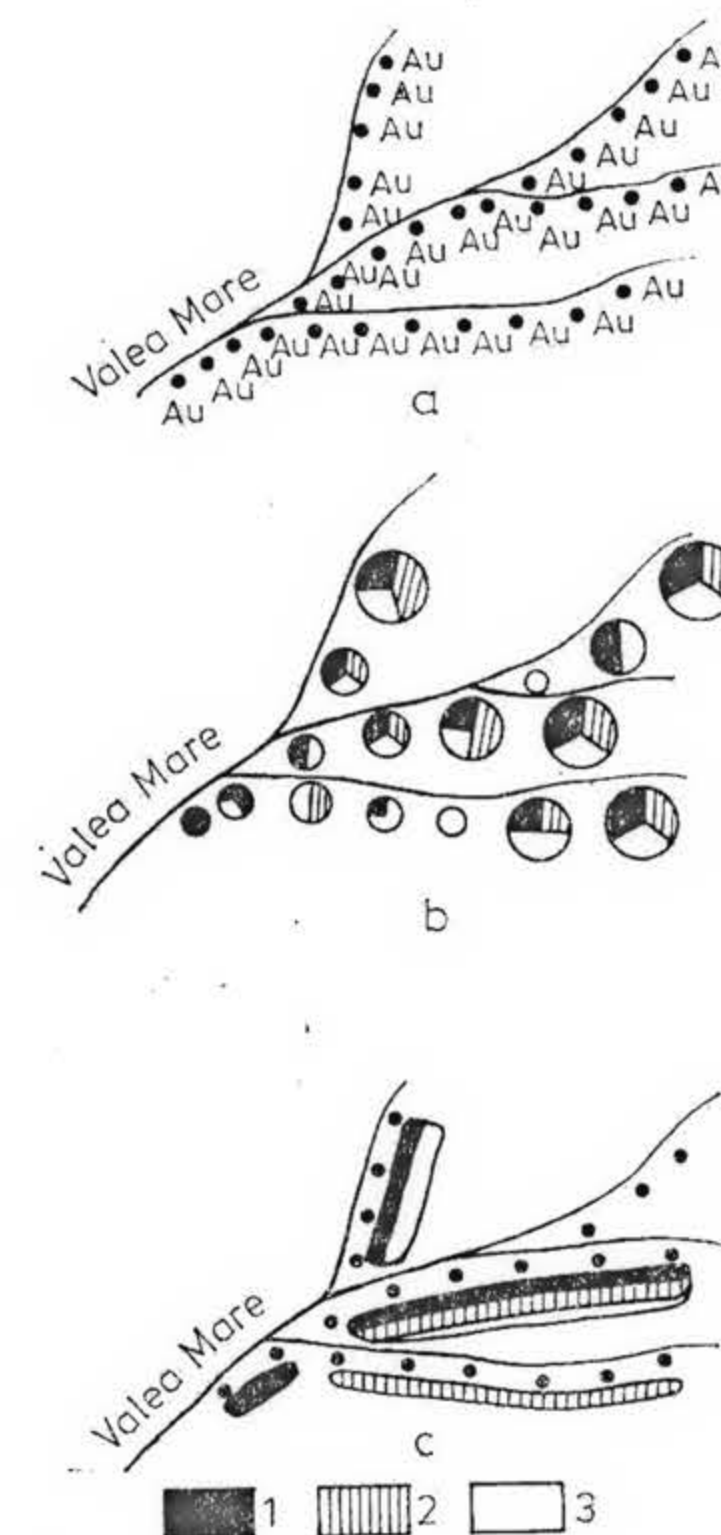


Fig. X.37. Reprezentarea datelor cartării geologice pe baza concentratelor de minerale grele :

a - metoda punctelor; b - metoda cercurilor; c - metoda benzilor; 1 - aur; 2 - casiterit; 3 - scheelit.

2. PROSPECȚIUNEA GEOFIZICĂ

În limbajul curent se identifică foarte frecvent activitatea geologică cu Geologia ca geștiință. Aceste două noțiuni nu trebuie însă confundate deoarece prima are o sferă mult mai largă de conținut.

Geologia reprezintă geștiința care pe baza studierii directe, nemijlocite, a rocilor și a raporturilor vizibile dintre formațiunile geologice, elaborează și stabilește ipoteze, concepte, teorii, regularități și legități cu privire la structura ascunsă a scoarței terestre, la evoluția acesteia în trecutul geologic, precum și la geneza, migrarea și acumularea în zăcămintele a materiilor prime minerale sau a purtătorilor de energie primară (combustibili fosili și hidrostructuri geotermale). Definitiv pentru geologie este așadar *informația directă*.

Acolo unde observația directă la suprafață nu este posibilă datorită faptului că structura geologică ce prezintă interes este mascată de formațiuni geologice sau de mase de roci cu raporturi de discordanță față de aceasta, intervin științele tehnice — forajul și minierul — care oferă posibilitatea studierii geologice a probelor de roci aduse la suprafață prin carotajul mecanic al găurilor de sondă sau a observării directe în subteran a rocilor ori substanțelor minerale utile deschise prin lucrările miniere.

Pe măsură ce zăcămintele situate la adâncimi mici s-au epuizat sau sînt în curs de exploatare și a devenit necesară descoperirea celor situate la mari adâncimi, prin intrarea în incidența interesului a acumulărilor de substanțe utile din domeniul marin ca și în orice alte situații în care apar interdicții de o anumită natură care fac imposibilă observația geologică directă, devine necesară intervenția unei alte geștiințe și anume a Geofizicii. Caracteristic acestei geștiințe este *informația indirectă* asupra structurii geologice ascunse a subsolului și a bogățiilor minerale pe care ea le conține.

Această informație indirectă reprezintă de fapt un răspuns sau un mesaj de natură fizică a subsolului, ca rezultat fie a unui fenomen provocat de către geofizician în vederea studiului (introducerea unui curent electric în subsol, crearea unui câmp de unde elastice etc.), fie a unui fenomen natural cum este gravitatea, geomagnetismul, radioactivitatea terestră, câmpul geotermic etc.

Mijloacele de investigație, tehnicile de lucru și aparatura proprie cercetărilor geofizice s-au diversificat și rafinat continuu, așa încît astăzi aceste cercetări se pot efectua pe sol în orice regiune a Pămîntului, în mine și găuri de sondă, în aer, pe apă și pe fundul mării, cu alte cuvinte practic nu mai există condiții de lucru legate de relieful, clima sau învelișul Pămîntului care să fie restrictive, limitative sau ostile executării acestora.

Privind retrospectiv progresul de-a dreptul spectacular pe care l-a înregistrat această geștiință în ultimele cîteva decenii, apare clar că la acesta au contribuit schimbările care au avut loc în lumea contemporană dintre care vom menționa ca mai importante următoarele trei:

Prima este legată de problema asigurării continue cu materii prime minerale, combustibili și energie, problemă care se ridică cu atît mai acut cu cît modelul de civilizație și de progres economic adoptat de majoritatea omenirii presupune un consum din ce în ce mai mare de astfel de resurse. Așa dar, un prim impuls al progresului în acest domeniu a provenit din necesitatea de a satisface „foamea de metal” a omenirii, de găsire de soluții pentru a preîntîmpina o eventuală penurie de energie și alte aspecte cu care este confruntată societatea umană contemporană.

Cea de-a doua este reprezentată de intrarea omenirii în era spațială. Pînă atunci frontierele tradiționale ale geofizicii încorporau investigații la suprafața solului sau la adâncimi mici de ordinul pînă la cîteva mii de metri, iar dezvoltarea ei se referea în-deosebi la studierea unor întinderi din ce în ce mai mari ale Pămîntului și la intensificarea gradului de detaliere a studiilor întreprinse. Posibilitățile noi oferite de determinarea din sateliți a câmpurilor fizice terestre, introducerea teledetecției ca și a altor procedee noi de cercetare au lărgit considerabil frontierele acestei activități, deplasînd răspunsurile referitoare la structurile ascunse ale subsolului la cu totul alte nivele de profunzime decît cel devenit clasic, îmbogățind și diversificînd în ultimă instanță natura și conținutul geologic al informațiilor geofizice. În același timp, evoluția Geofizicii către Planetofizică din necesitatea determinării câmpurilor de atracție, magnetic și radioactiv, seismicitatea și alte fenomene fizice, mai întîi a Lunii și apoi a unor planete, a dus la realizări sau adaptări de aparatură de măsurare cu performanțe din ce în ce mai ridicate; din această circulație în dublu sens, prospecțiunea geofizică a avut de cîștigat nu numai în ceea ce privește aparatura de măsurare și tehnica de lucru ci și din punctul de vedere al prelucrării și interpretării mărimilor măsurate.

În fine, o mare influență asupra activității geofizice a avut-o impactul calculului electronic. Acesta s-a manifestat, în condițiile perfecționării continue a calculatoarelor electronice, în sofisticarea aparaturii de măsurare din punctul de vedere al principiilor pe care se bazează obținerea informațiilor referitoare la structurile geologice și la acumulările de substanțe minerale utile, ca și al sistemelor de înregistrare și redare a acestor informații, al calibrării, etalonării și depanării unor astfel de echipamente, precum și în posibilitatea prelucrării unor volume mari de date la un nivel fizico-matematic net superior.

Ca urmare, schimbările survenite în domeniul acumulării, transmiterii și difuzării informațiilor geofizice, ca și gradul tot mai ridicat de rafinament al datelor, din punctul de vedere al obținerii precum și din acela al prelucrării și interpretării lor au contribuit la accelerarea ritmului cercetării geofizice și la lărgirea frontierelor problematice geologice privind baza de materii prime minerale și de surse de energie.

Cunoașterea aprofundată a metodelor de prospecțiune geofizică, folosirea adecvată a acestora și interpretarea corectă a informațiilor obținute reprezintă în fapt cele trei laturi inseparabile și care se condiționează reciproc pentru rezolvarea complexelor probleme ce se pun prospecțiunii, determinarea formelor structurale ale rocilor și a condițiilor favorabile de acumulare a substanțelor minerale utile în zăcămintele, integrarea acestora în ansamblul și caracteristicile structurii geologice regionale și locale și, în ultimă instanță, creșterea eficienței economice a activității de prospectare a subsolului.

După cum este cunoscut (Gavăț et al., 1973), interpretarea geologică a informației geofizice urmărește să clarifice problemele de legătură dintre rezultatele prospecțiunilor geofizice și geologice, în scopul descifrării pe cale indirectă a structurii geologice ascunse a subsolului și a îmbogățirii gradului de cunoaștere geologică a acestuia. Întreaga experiență acumulată în cei peste 60 de ani de activitate geofizică românească de către toate generațiile de ingineri geofizicieni a contribuit la adîncirea, diversificarea și rafinarea interpretării geologice a informației geofizice, făcînd din aceasta un domeniu de tradiție în țara noastră.

Privit prin prisma teoriei comunicației, procesul de interpretare geologică a informației geofizice dezvăluie unele aspecte, conținuturi și semnificații noi, atît teoretice cît și practice, asupra cărora ne vom referi pe scurt în cele ce urmează.

Considerată la un nivel de largă generalitate, prospecțiunea geofizică poate fi definită ca activitatea de obținere la suprafața solului, a apei sau în aer a unor sem-

nale — naturale sau provocate așa cum a fost precizat mai înainte — cu o semnificație fizică net diferită și care poartă în ele informații de la structura geologică ascunsă a subsolului, prelucrarea acestor semnale și interpretarea lor în termeni geologici. Sub aspect fizic, nici o apropiere nu se poate face între natura acestor semnale utilizate în diferitele metode geofizice. Într-adevăr, cum am putea găsi o cât de mică asemănare între, să zicem, câmpul electric generat prin polarizație naturală de un zăcămint de sulfuri polimetalice și vibrația solului creată de sosirea la suprafață a unei unde elastice reflectată de un strat de cărbune din subsol, între oricare din acestea două și intensitatea radiației naturale produsă de o mineralizație de elemente rare și disperse ș.a.m.d.

Și totuși, dacă analizăm cu atenție ceea ce de fapt reprezintă prospecțiunea geofizică constatăm că astfel de semnale, indiferent de fenomenul fizic care le provoacă, satisfac o relație unică pe care putem să o numim *ecuația generală a prospecțiunii geofizice* și care poate fi exprimată analitic ca

$$S(x, y, z, t) = I(x, y, z, t) * G(x, y, z, t) + Z(x, y, z, t).$$

În această relație:

$S(x, y, z, t)$ reprezintă semnalul geofizic recepționat la suprafața solului terestru sau a mării și care în cazul prospecțiunilor aerogeofizice efectuate la un plafon de zbor z devine $S(x, y, -z, t)$;

$I(x, y, z, t)$ este informația geofizică generată de obiectul geologic de prospectat — formă structurală sau acumulare de substanțe minerale utile — și a cărei definiție o vom face mai departe;

$G(x, y, z, t)$ este o funcție care depinde de caracteristicile mediului geologic prin care se propagă informația geofizică, cum sînt de exemplu reflectivitatea, transmisivitatea, atenuarea, absorbția, ecranarea, semnale adiționale provenite de la alte obiecte geologice învecinate sau de la elemente geomorfologice de suprafață și altele;

$Z(x, y, z, t)$ definește zgomotul, considerat în general ca avînd un caracter aleator, dar care în realitate nu întotdeauna are această caracteristică.

În relația de mai sus, x, y și z simbolizează variabilele spațiale într-un sistem cartezian de coordonate, iar t variabila temporală.

În acord cu această relație, semnalul geofizic de care ia act geofizicianul la efectuarea măsurătorilor reprezintă convoluarea informației geofizice pe care caută să o determine cu o funcție de transfer care depinde de mediul geologic și la care se adaugă un zgomot inerent oricărui proces de comunicație. Particularizarea acestei ecuații generale la oricare din metodele, tehnicile sau variantele de prospecțiune geofizică, se poate face fără dificultăți.

Rezultă, din cele de mai sus, că problema fundamentală a prospecțiunii geofizice este de fapt aceea de a determina cit mai exact pe $I(x, y, z, t)$, respectiv informația geofizică, cunoscînd semnalul geofizic determinat experimental $S(x, y, z, t)$ sau $S(x, y, -z, t)$ și evaluînd sau aproximînd funcțiile $G(x, y, z, t)$ și $Z(x, y, z, t)$. Cu alte cuvinte, problema fundamentală a prospecțiunii geofizice este de a stabili cantitativ informația geofizică provenită de la obiectul geologic de prospectat; odată determinată aceasta, și numai în condițiile unui grad de încredere foarte ridicat asupra realității ei, se poate trece la interpretarea geologică a informației geofizice.

Să vedem acum ce semnificație poate avea noțiunea de informație geofizică.

Termenul de *informație*, folosit adesea în limbajul curent cu sensuri diferite (știre, veste, noutate, anchetă, anunț, confidență etc.), reprezintă de fapt o noțiune de largă

generalitate. Ca și alte noțiuni de același fel, ea nu se poate defini sau, în orice caz, nu acceptă o definiție simplă din cauza sensurilor diferite în care este utilizată. Ea poate căpăta însă un sens dacă îi asociem și domeniul la care se referă, de exemplu informație istorică, informație economică etc. sau, în cazul nostru, informație geofizică; analizînd însă cu atenție această problemă ajungem la concluzia că nu există o altă atitudine posibilă decît o alegere „a priori” a definiției pentru această noțiune. Stabilesc așadar prin convenție că *informația geofizică reprezintă suportul material al mesajelor fizice și geologice raportabile la structura geologică ascunsă a subsolului și la acumulările de substanțe minerale utile pe care aceasta le conține.*

Adoptînd această definiție, cu semnificație de suport material al unor răspunsuri sau mesaje care provin de la obiectele geologice din subsol, reiese clar că înțelegem prin informație geofizică orice reprezentare concretizată în profile, hărți, secțiuni, diagrame, histogramme și alte tipuri de grafice folosite în prospecțiunea geofizică. În această formă, și numai în aceasta, informația geofizică poate fi interpretată în termeni geologici, cu alte cuvinte i se poate descifra și înțelege mesajul pe care îl poartă de la structura geologică ascunsă a subsolului.

2.1. POSIBILITĂȚI ȘI LIMITĂRI FIZICE, GEOLOGICE ȘI ECONOMICE ALE UTILIZĂRII PROSPECTIUNILOR GEOFIZICE

„Mineritul și metalurgia s-au născut împreună deoarece amîndouă au comune o serie de domenii reprezentate fie de discipline fundamentale, fie de discipline ajutătoare” scria Kögler (1929) în prefața la prima ediție a binecunoscutului manual practic de minerit apărut sub coordonarea sa.

Chiar dacă nu se poate spune același lucru despre industria minieră și geostiințele aplicate — geologia și, mai recent, geofizica — este clar că între acestea există multe discipline comune și, mai ales, puternice relații de interdependență. Pe de o parte, dezvoltarea industriei miniere se bazează pe progresul ce se realizează în aceste geostiințe; aceasta privește posibilitățile de detectare a acumulărilor de diferite substanțe minerale utile care nu-și trădează prezența lor în adîncime prin manifestări sau indicii de suprafață, explorarea acestora pînă la atingerea unui grad de cunoaștere care să asigure confirmarea de rezerve în bilanț pe care să se poată fundamenta investițiile, stabilirea tehnologiilor de extracție și de preparare pentru recuperarea cit mai completă a componentilor utili etc.

În acest proces complex de atragere în circuitul economic a noi zăcămint de substanțe minerale utile sau de purtători de energie primară, activitățile geologice, geofizice și miniere se împletesc în mod armonios și se sprijină reciproc.

Pe de altă parte, geologia și geofizica sînt beneficiare ale activității miniere deoarece pe măsură ce avansează exploatarea zăcămintelor crește și gradul de cunoaștere geologică a acestora, se confruntă și se verifică ipotezele și modelele elaborate în faza de prospecțiune și îmbunătățite în cea de explorare. Mai mult decît atît, se rezolvă această situație paradoxală a cunoașterii geologice și anume că un zăcămint devine cu adevărat cunoscut în toată complexitatea lui — formă exactă, dimensiuni, gradul de mineralizare și variațiile acestuia, distribuția elementelor însoțitoare și tipul lor, relațiile cu rocile care îl găzduiesc etc. — în momentul în care exploatarea lui s-a încheiat, deci a ieșit din incidența interesului economic. Aceasta nu înseamnă însă

că interesul lui scade pentru geologie; din contra, abia cînd această cunoaștere este asigurată se pot stabili cu adevărat legitățile de geneză și acumulare a mineralizației în condițiile concret specifice ale structurii geologice regionale și locale, se pot stabili condiționările fizico-geologice care au determinat reflectări ale acestuia de o anumită natură și de un anumit tip în mărimile fizice care au reprezentat informațiile indirecte etc. Toate acestea duc la progresul geostiintelor, la îmbunătățirea metodelor și tehnicilor de lucru ce vor fi aplicate în condiții fizico-geologice și de geneză asemănătoare, ceea ce va avea ca efect final creșterea eficienței activității de prospectare a subsolului. Iată de ce, acest schimb de informații în dublu sens, dintre industria minieră și geostiintă, nu numai că este în beneficiul reciproc al acestora dar creează și interdependența dintre ele la care ne-am referit mai sus.

Acestea sînt principalele elemente obiective care stau la baza cooperării dintre minieră și geostiintă în general și, prospecțiunea geofizică, în particular. Și, ca în orice domeniu de cooperare, cu cît aceasta este mai adîncită, cu cît aportul părților este mai bogat în conținut și mai mare cantitativ, cu atît și rezultatele acesteia vor fi mai importante în beneficiul ambelor părți. De aceea, cunoașterea și înțelegerea de către inginerul de mine a posibilităților și limitărilor metodelor geofizice, a naturii problemelor geologice pe care ele le pot rezolva ca și a tipului și semnificației informațiilor pe care acestea le pot furniza, cunoașterea de pe pozițiile beneficiarului unor astfel de lucrări, nu poate fi decît în interesul industriei miniere și, în ultimă instanță, a economiei noastre naționale.

Pămîntul românesc oferă o mare complexitate și diversitate a alcătuirii sale geologice, ca și a bogățiilor minerale pe care le conține subsolul acestuia. Aceste aspecte sînt tratate în ceea ce au ele esențial, ca și cu amănuntele semnificative, în alte părți ale prezentului manual. Nu putem însă să trecem cu vederea aspecte cum sînt complexitatea structurii geologice, tipurile și formele de zăcămint pe care le îmbracă acumulările de substanțe metalifere și nemetalifere, dimensiunile zăcămintelor, natura paragenazelor minerale în zăcămintele, relațiile acestora cu structurile magmatice sau metamorfice și uneori chiar sedimentare care le găzduiesc etc., ca și gradul de încarbonificare, grosimile și continuitatea sau lipsa acesteia la stratele de cărbuni, relațiile lor cu formele structurale ale formațiunilor sedimentare în care s-au format, gradul de tectonizare al acestora pe care l-au suportat în trecutul geologic și natura formelor tectonice actuale etc., deoarece toate acestea se reflectă într-un mod specific în informațiile geofizice.

Aplicabilitatea metodelor geofizice în procesul prospectării diferitelor tipuri de substanțe minerale utile și de forme de zăcămint sub care acestea se găsesc asociate structurii geologice ascunse este controlată de o serie de condiționări fizice, geologice și economice asupra cărora ne vom opri pe scurt atenția în cele ce urmează. Aceste condiționări, denumite și *parametri-cheie* în limbajul curent al geofizicienilor, sînt principalele elemente care definesc și conturează posibilitățile și limitările aplicabilității eficiente a acestor metode.

Ceea ce este caracteristic și definitoriu diferitelor metode de prospecțiune geofizică este că fiecare din ele pune în evidență o latură anumită în care se reflectă structura geologică prospectată prin metoda respectivă; or, această latură specifică este direct condiționată de factorii fizici și geologici care asigură aplicabilitatea ei. Acești factori sînt trecuți în revistă în cele ce urmează.

Contrastul de proprietăți fizice. Acesta este unul dintre factorii fizico-geologici care este comun tuturor metodelor de prospecțiune geofizică. Nici una dintre aceste metode nu este aplicabilă dacă obiectul geologic de prospectat — fie zăcămint, fie structură geologică de care să fie asociată o anumită substanță minerală utilă — nu reali-

zează un contrast de proprietăți fizice față de restul rocilor care se găsesc lateral, deasupra și dedesubtul lui.

Un astfel de contrast este *contrastul de masă magnetică*. Proprietatea fizică în măsură să diferențieze diferitele tipuri de roci sau de substanțe minerale utile din natură este susceptibilitatea magnetică a acestora și se exprimă în unități specifice de susceptibilitate (10^{-6} uCGS). În esență, proprietățile magnetice ale fiecărui element chimic sînt definite de momentul magnetic al atomului acestuia. Cu mici excepții, elementele chimice nu se găsesc pure în natură ci sub formă de combinații ca oxizi, sulfuri, carbonați, silicați etc., iar forma de prezentare a lor este aceea de molecule. Organizarea atomilor poate fi în rețea cristalină sau sub aspect amorf. Din cele de mai sus reiese că momentul magnetic al atomului nu este definitoriu pentru proprietățile magnetice ale mineralelor. Un exemplu în acest sens este edificator. Hematitul are susceptibilitate magnetică ridicată, de ordinul $1000-80000 \cdot 10^{-6}$ uCGS, în timp ce magnetitul care are aceeași formulă chimică este practic lipsit de proprietăți magnetice din cauza unei organizări interne diferite a atomilor în rețeaua cristalină și care are ca efect anihilarea reciprocă a momentelor magnetice ale atomilor.

Mineralul cu cea mai ridicată valoare a susceptibilității magnetice și net diferită ca nivel de a tuturor celorlalte, de ordinul $10000-4400000 \cdot 10^{-6}$ uCGS, este magnetitul. Acesta prezintă și marele avantaj că este foarte răspîndit în natură, fiind prezent — în conținuturi foarte diferite — practic în toate tipurile de roci (sedimentare, metamorfice și magmatice), precum și în marea majoritate a paragenazelor de minerale metalifere.

Datorită acestei situații, pentru înțelegerea și explicarea comportării magnetice a structurii geologice în prospecțiunea geofizică s-a emis ipoteza simplificatoare că *susceptibilitatea magnetică este direct proporțională cu conținutul rocilor în magnetit*. Cu tot caracterul ei simplificator, această ipoteză s-a dovedit pe deplin satisfăcătoare în marea majoritate a cazurilor practice.

În realitate, proprietățile magnetice ale oricărei substanțe din natură nu pot fi definite complet decît prin intensitatea de magnetizare a acesteia, care este o mărime vectorială și nu scalară ca susceptibilitatea magnetică. *Intensitatea de magnetizare a unei roci* reprezintă momentul magnetic al unității de volum și fiind o mărime dirijată în spațiu trebuie cunoscută — ca orice vector — prin intensitate, direcție, sens și poziția punctului de aplicație, ceea ce nu este cîtuși de puțin un lucru simplu. Legătura dintre intensitatea de magnetizare și susceptibilitatea magnetică este dată de faptul că mărimea acesteia este proporțională cu susceptibilitatea, respectiv cu capacitatea de magnetizare a substanței respective.

Considerate după intensitatea lor de magnetizare, rocile din natură pot să posede o magnetizare indusă, cîștigată datorită cîmpului geomagnetic în timpul formării lor, sau una remanentă (naturală) care le este proprie la formarea lor sau a fost influențată datorită proceselor chimice și termice care au avut loc în trecutul lor geologic. De fapt, pentru orice rocă sau acumulare de substanțe minerale utile, intensitatea de magnetizare reprezintă suma, evident vectorială, a celor două tipuri de magnetizări, respectiv remanentă și indusă; numai că la rocile slab magnetizate, cum sînt cele sedimentare, metamorfice și unele roci magmatice, mai ales acide, predomină componenta indusă, iar cea remanentă este practic neglijabilă, în timp ce la zăcămintele de fier — îndeosebi cele de oxizi — precum și la unele roci magmatice bazice și ultrabazice, predominantă este componenta remanentă.

Dat fiind faptul că vectorii magnetizare în masa unei roci sau zăcămint pot avea intensități mari, definind deci o susceptibilitate magnetică echivalentă cu valoare ridicată, însă orientări diferite în spațiu, acestea pot să nu se manifeste ca niște cor-

puri magnetice când orientarea vectorilor este difuză sau ca avînd o magnetizare inversă când vectorii magnetizare au o orientare preferențială paralelă ori diferită de aceea a cîmpului geomagnetic, însă au sens invers cu al acestuia.

În cazul în care avem de-a face cu magnetizări remanente, interpretarea rezultatelor prospecțiunii geofizice se complică dar nu este irezolvabilă.

Proprietățile magnetice, fie că sînt definite prin susceptibilitatea magnetică, fie prin intensitatea de magnetizare, variază în domenii mari în cadrul oricărei structuri geologice de la un tip de rocă la altul care intră în componența ei și chiar în cuprinsul aceluiași tip de rocă, cum este cazul rocilor magmatice și al zăcămintelor metalifere. De aceea, aplicabilitatea prospecțiunii geofizice este condiționată de fapt nu de contrastul sau de contrastele de proprietăți magnetice; astfel de contraste devin interesante numai dacă rocile care se diferențiază după această proprietate ocupă volume importante în subsol, deoarece numai în acest caz se realizează contraste de masă magnetică suficient de mari în valoare pentru a genera anomalii magnetice cartabile. Din cele arătate mai sus reiese clar că, de fapt, *contrastul de masă magnetică* — factor fizico-geologic care condiționează aplicabilitatea uneia dintre metodele geofizice — reprezintă produsul dintre contrastul de proprietăți magnetice și volumul ocupat de corpul geologic în subsol. Latura corpului geologic prospectat care se reflectă în această metodă de prospecțiune geofizică este deci contrastul de masă magnetică.

Un alt tip de contrast de proprietăți fizice este contrastul de „masă materială” sau, mai simplu, *contrast de masă*.

Rocile și acumulările de substanțe minerale utile se diferențiază și după densitatea lor, respectiv după masa unității de volum a acestora exprimată în g/cm³. În principal, valoarea densității depinde de compoziția minerală, cu alte cuvinte de tipurile de minerale și de procentul cu care acestea intră în alcătuirea unui corp geologic.

Ca și proprietățile magnetice, densitatea variază în limite destul de largi în cuprinsul oricărei structuri geologice, de la un tip de rocă la altul și chiar în cadrul aceluiași tip de rocă. Un exemplu grăitor în acest sens îl reprezintă variația densității în cuprinsul corpurilor masive constituite din vulcanite neogene în funcție de gradul diferit de alterare hidrotermală a acestora, îndeosebi când procesele de autometamorfism hidrotermal au acționat în sensul caolinizării.

Variațiile de densitate legate de structura geologică ascunsă nu devin interesante pentru prospecțiunea geofizică decît atunci cînd obiectele geologice care prezintă un astfel de contrast ocupă volume importante în subsol. Numai în aceste cazuri se realizează contraste de masă capabile să genereze anomalii gravimetrice cartabile. Latura specifică a corpului geologic prospectat pe această cale geofizică va fi de această dată contrastul de masă, cu semnificație de produs între contrastul de densitate și volumul ocupat de corpul geologic respectiv.

Următorul tip de contrast de proprietăți fizice asupra căruia ne vom opri atenția este *contrastul de proprietăți electrice*.

Propagarea curentului electric printr-un mediu oarecare este condiționată de conductibilitatea electrică specifică a acestuia, cu alte cuvinte de capacitatea pe care o are mediul respectiv de a lăsa să treacă un curent electric prin el.

Cu mici excepții, cum este de pildă cazul mineralizațiilor metalifere masive, marea majoritate a rocilor și a acumulărilor de substanțe minerale utile se prezintă din punct de vedere electric ca niște medii eterogene cu comportament diferențiat. Fiind de fapt agregate minerale, ele reprezintă un amestec variabil de trei medii electrice diferite și anume:

— minerale metalifere, îndeosebi oxizii și sulfurile, caracterizate prin valori mari ale conductibilității electronice și prin care propagarea curentului electric se face datorită deplasării libere a electronilor în interiorul lor;

— apa, care intră în constituția oricărei roci fie ca apă legată, fie ca soluții mineralizate care umplu spațiul liber dintre minerale și care este caracterizată prin valori relativ scăzute ale conductibilității ionice. În acest caz, propagarea curentului electric se face prin deplasarea liberă a ionilor în soluție;

— minerale slab conductoare electric, practic cu un comportament de dielectrice, cum sînt cuarțul, calcitul, feldspatii etc. Astfel de minerale opun o rezistență foarte mare la trecerea curentului electric prin ele sau chiar nu permit propagarea acestuia. Cînd astfel de minerale constituie acumulări masive, ca de exemplu corpuri de cuarțit, de baritină etc., ele se comportă foarte rezistiv din punct de vedere electric. Prezența lor în rocile comune metamorfice, magmatice sau sedimentare, ca și în mineralizațiile obișnuite, asociată mineralelor metalifere și apei, fac rocile respective mai puțin restrictive propagării curentului electric. În acest caz avem de-a face cu un alt tip de conductibilitate electrică, denumită *capacitivă* sau *prin curenți de deplasare*.

Conductibilitatea electrică, indiferent de natura ei, variază în limite foarte mari pentru diferitele minerale și chiar pentru roci ori acumulări de substanțe minerale utile. De aceea, practic este mai avantajos de caracterizat proprietățile electrice a subsolului nu prin conductibilitatea electrică specifică a corpurilor geologice care îl constituie, ci prin valoarea inversă a ei, denumită *rezistivitate electrică* și exprimată în Ωm . Așadar, contrastul de proprietăți electrice este de fapt un contrast de rezistivitate electrică specifică și aceasta este practic latura în care se reflectă corpurile geologice din subsol. Evident că și în acest caz mărimea corpurilor geologice influențează rezultatele prospecțiunii geofizice, dar factorul fizico-geologic de care depinde direct prospecțiunea electrometrică rămîne contrastul la care ne-am referit mai sus.

Alt tip de contrast de proprietăți fizice care se realizează în natură este reprezentat de *contrastul de proprietăți radioactive naturale*. Aceste proprietăți sînt conferite rocilor îndeosebi de mineralele de uraniu care sînt mai numeroase și mai larg răspîndite în natură, au durată de existență caracterizată prin timpi de înjumătățire mai îndelungați și produc radiații mai intense. Prezența acestor minerale și, mai ales a uraninitului, se regăsește — la concentrații variabile și în general mici — practic în toate tipurile de roci. Nu trebuie neglijată însă nici prezența unor minerale de thoriu, ca de exemplu monazitul, importantă în acumulările de minerale grele, ca și a celor de potasiu din rocile metamorfice și magmatice.

Raporturile de conținut în minerale radioactive pot fi foarte diferite în natură și ele variază între 1000/1 și chiar mai mult în cazul zăcămintelor de substanțe radioactive, coborînd pînă la 2/1 în cazul rocilor comune. Parametrul fizic care caracterizează proprietățile radioactive este conținutul în minerale radioactive și se exprimă în $\mu\text{g Ra echiv./g rocă}$. Latura specifică în care se reflectă corpurile geologice ascunse în rezultatele prospecțiunii geofizice va fi așadar, în acest caz, contrastul de conținut în minerale radioactive.

Alt tip de contrast de proprietăți fizice pe care îl realizează corpurile geologice este *contrastul de proprietăți termice*. Acesta derivă în primul rînd din conductibilitatea termică diferită a rocilor și care se exprimă în cal/cm². s. grad centigrad. Pe baza acestei proprietăți are loc difuzia diferențiată a căldurii interne a Pămîntului către suprafața terestră, prin conducție sau convecție, ca și a căldurii generate prin alte fenomene naturale cu sediul aproape de suprafață, cum sînt oxidarea unor mineralizații sau procesele de dizolvare a sării și care reprezintă fie reacții exotermice, fie endotermice. Latura specifică în care se reflectă corpurile geologice în informațiile geofizice este reprezentată în acest caz, în esență, prin contrastul de conductibilitate termică.

În fine, un alt contrast de proprietăți fizice realizat în natură este *contrastul de proprietăți elastice*, pe care se bazează propagarea în subsol a undelor seismice.

Proprietățile elastice ale rocilor, respectiv ale substanțelor minerale utile acumulate în zăcămintele, care interesează în propagarea și, mai ales, în devierea prin refracție sau reflexie a undelor elastice prin subsol, se caracterizează simultan prin doi parametri fizici ale acestora și anume: viteza de propagare a undelor elastice (v) și densitatea (δ).

Astfel, în refracție, contrastul de proprietăți elastice este definit prin contrastul de impedanță acustică — mărime reprezentată de produsul $v \cdot \delta$ — și poate fi exprimat fie ca

$$v_2 \cdot \delta_2 - v_1 \cdot \delta_1$$

fie ca

$$v_2 \cdot \delta_2 / v_1 \cdot \delta_1,$$

indicii 1 și 2 referindu-se la mediul de propagare superior, respectiv inferior.

În reflexie, contrastul de proprietăți elastice este caracterizat prin coeficientul de reflexie care se realizează la limita dintre cele două medii, exprimat ca

$$\frac{v_2 \cdot \delta_2 - v_1 \cdot \delta_1}{v_2 \cdot \delta_2 + v_1 \cdot \delta_1}$$

Mărimea corpurilor geologice, în acest caz grosimea straturilor, intervine cu o pondere mică și practic numai în cazul refracției. Aplicabilitatea acestei forme de prospecțiune geofizică este condiționată deci, aproape exclusiv, de contrastul de proprietăți elastice care reprezintă și latura specifică în care se manifestă structura geologică ascunsă a subsolului.

Așa cum a fost deja precizat, proprietățile fizice ale rocilor — specifice pentru toate metodele geofizice — pot să prezinte valori diferite de la o rocă, mineral sau acumulare de minerale utile la alta, datorită situației geologice concret locale. Deoarece aceste proprietăți fizice nu sînt constante pentru astfel de substanțe, este întotdeauna convenabil să cunoaștem domeniul lor de variație. Pentru aceasta, în tabelul X.5 pe care îl prezentăm sînt înscrise domeniile de variație pentru principalele medii care interesează geologia minieră și prospecțiunea geofizică în această ramură a geologiei economice și, de asemenea, pentru toți parametrii fizici discutați mai sus.

Relieful topografie și structura cuverturii superficiale. Relieful topografic și cuvertura superficială reprezintă alți doi factori fizico-geologici care controlează aplicabilitatea prospecțiunilor geofizice.

Zăcămintele metalifere și în parte cele de cărbuni, sare și substanțe nemetalifere sînt situate — cel puțin în țara noastră — în regiuni muntoase și submuntoase caracterizate prin relief variat și accidentat.

Formele de relief topografic și prezența mai multor tipuri de roci cu proprietăți fizice diferențiate în cuprinsul acestora — îndeosebi în cazul reliefurilor geomorfologice — influențează într-o măsură diferită prospecțiunile geofizice. Măsurătorile gravimetrice și seismice sînt puternic influențate și, din acest motiv, efectele de relief sînt scrupulos evaluate pentru corectarea valorilor măsurate. Efecte datorate acestor factori se resimt și în măsurătorile magnetice și radiometrice, în unele cazuri chiar și în cele electrometrice; în aceste cazuri, deși nu se evaluează reduceri de relief, se ține cont în interpretarea informațiilor geofizice de posibilitatea existenței unor efecte provenite pe această cale.

Cuvertura superficială, reprezentată prin soluri, formațiuni aluviale sau deluviale, alterări a zonelor de suprafață ale rocilor masive, conuri de dejecție sau alte formațiuni

Tabelul X.5

Proprietățile fizice ale principalelor roci și minerale

Rocă sau mineral	Densitatea, g/cm ³	Susceptibilitatea magnetică, 10 ⁻⁶ uCGS	Conținut în Ra echivalent, μg Ra/g	Viteza de propagare, m/s	Rezistivitatea specifică, Ωm
Soluri	1,50—2,00	0—30		300—800	2 · 10 ⁹ —1 · 10 ⁶
Loess	1,40—1,50	20—30		300—800	5 · 10 ¹ —1 · 10 ⁴
Nisip	1,40—2,18	—1	3—21	1 600—1 900	1 · 10 ⁹ —4 · 10 ⁶
Grezie	2,35—2,72	3—700	3—22	2 200—3 000	6 · 10 ¹ —1 · 10 ⁶
Argilă	2,15—2,46	20—40	4—23	2 000—2 200	1 · 10 ⁹ —1 · 10 ⁵
Marnă	2,12—2,57	40—50	3—24	2 100—2 600	5 · 10 ⁻¹ —7 · 10 ⁹
Calcar	2,45—2,81	4—70	3—17	4 000—6 000	1 · 10 ¹ —1 · 10 ⁸
Dolomit	2,60—2,80	—1~4	2—9	4 000—6 000	6 · 10 ³ —5 · 10 ⁷
Sare, gips	2,12—2,25	—1	0—2	4 500—6 000	3 · 10 ³ —1 · 10 ⁸
Lignit	1,00—1,20	—2~2	0—2	1 400—1 900	9 · 10 ² —2 · 10 ⁴
Huilă	1,40—1,50	—2~2	0—2	1 400—2 000	6 · 10 ¹ —1 · 10 ⁷
Antracit	1,40—1,60	—2~3	0—3	1 600—2 000	1 · 10 ² —2 · 10 ⁷
Pirită	4,90—5,20	4—50			5 · 10 ⁻² —1 · 10 ⁻⁴
Calcopirită	4,10—4,30	3—40			1,5 · 10 ⁻² —3,5 · 10 ¹
Pirotină	4,58—4,70	6 000—80 000			5 · 10 ⁻² —5 · 10 ⁰
Magnetit	4,90—5,20	10 000—4 400 000			0,6 · 10 ⁰ —5 · 10 ³
Hematit	5,00—5,30	1 000—80 000			5 · 10 ⁴ —1 · 10 ⁷
Limonit	3,30—4,00	100—500			1 · 10 ⁵ —1 · 10 ⁷
Siderit	3,90—4,00	2—30			7 · 10 ³
Galenă	7,40—7,60	2—40			3 · 10 ⁻³ —2 · 10 ¹
Cromit	4,00—4,80	240—600			1 · 10 ² —2 · 10 ⁶
Calcit	2,60—2,80				10 ⁷
Cuarț	2,50—2,80				10 ⁷
Grafit	1,84—2,23				8 · 10 ⁻⁴ —6 · 10 ⁰
Filit	2,68—2,80	100			
Amfibolit	2,91—3,04	60		6500—7 000	
Șisturi cristaline	2,39—2,87	20		4 000—6 000	3 · 10 ⁵ —4 · 10 ⁶
Gnais	2,59—3,00	0—2 50		4 500—4 900	2 · 10 ⁻⁴ —3 · 10 ⁶
Serpentin	2,80—3,10	250—6 000	0—1	6 500—7 000	2 · 10 ⁴ —3 · 10 ⁵
Granit	2,56—2,71	5—5 000	0—3	4 000—6 000	3 · 10 ² —2 · 10 ⁵
Diorit	2,60—2,75	10—5 000	0—3	5 000—6 000	5 · 10 ⁶ —1 · 10 ⁶
Porfir	2,55—2,66	40—600	0—3	5 000—6 000	6 · 10 ³ —1,5 · 10 ⁶
Sienit	2,60—2,90	50—5 000	0—2	5 000—5 500	1 · 10 ⁴ —1 · 10 ⁷
Bazalt	2,71—3,21	60—6 000	0—2	4 900—6 400	8 · 10 ² —1 · 10 ⁹
Diabaz	2,73—3,12	50—12 000	0—2	5 800—7 100	2 · 10 ³ —2 · 10 ⁶
Gabbrou	2,89—3,09	0—7 000	0—2	6 700—7 300	1 · 10 ⁴ —1,5 · 10 ⁶
Dunit	2,80—3,12	100—2 000	0—1	7 900—8 100	
Tuf vulcanic	1,75—1,85	100—3 000			

alohtone acoperitoare etc., își manifestă de asemenea influența asupra măsurătorilor geofizice prin natura petrografică a lor, variațiile de grosime, gradul de umiditate și altele.

În unele situații, cum este cazul măsurătorilor radiometrice, rocile cuverturii superficiale — dacă depășesc o grosime de mai mulți decimetri — pot să ecraneze radiațiile provenite de la corpurile geologice din subsol, reprezentând un element prohibitiv executării acestora. În prospecțiunea seismică, influența acesteia se consideră scrupulos, evaluându-se efectele asupra propagării undelor elastice și aplicându-se corecțiile necesare. La celelalte metode de prospecțiune geofizică efectele cuverturii superficiale nu se pot evalua, însă trebuie ținut cont în procesul de interpretare a informațiilor de posibilitatea existenței lor.

Mărimea, adâncimea, forma și gradul de izolare a obiectelor geologice. Ideal ar fi ca toate zăcămintele de substanțe minerale utile să fie cât mai mari și cât mai aproape de suprafață, iar forma lor să fie regulată, chiar geometrică, și ușor de determinat printr-un minim de lucrări de explorare; acest lucru este valabil atât pentru industria minieră cât și pentru prospecțiunea geofizică. În realitate, situația nu este deloc aceasta. Din contră, detectarea unor astfel de zăcămintă implică investigarea la adâncimi din ce în ce mai mari și, în general, în condiții de structură geologică mereu mai complicată.

Pentru prospecțiunea geofizică, *mărimea, adâncimea și forma obiectelor geologice* ce urmează a fi detectate pe această cale reprezintă trei factori fizico-geologici care trebuie considerați împreună, deoarece ei se intercondiționează reciproc și se manifestă simultan. Este adevărat că aceștia se reflectă în trei elemente caracteristice ale informațiilor geofizice — morfostructura, intensitatea și extinderea în suprafață a lor — însă această reflectare nu este separată ci simultană, deși cu pondere diferită, a tuturor celor trei factori fizico-geologici în fiecare din acestea.

Pentru unele metode geofizice, cum sînt cele gravimetrică și magnetometrică, obiectele geologice de interes — indiferent de forma lor — pot fi sesizate dacă pe măsură ce crește adâncimea lor le crește și mărimea. Influența adâncimii în radiometrie rămîne factorul cel mai important deoarece, așa cum s-a mai spus, dacă intervine ecranarea fluxului de radiații datorită rocilor care acoperă obiectul geologic de prospectat, adâncimea acestuia poate deveni prohibitivă aplicării acestei metode. În electrometrie, de asemenea, adâncimea joacă un rol esențial, în primul rînd ca urmare a faptului că prin însăși posibilitățile pe care le oferă, metodele electrometrice au o adâncime de investigație mică, de ordinul pînă la 3—400 m. Singura metodă geofizică fără restricții de adâncime este cea seismometrică, dar aplicarea ei în geologia minieră este limitată la substanțele minerale utile găzduite de formațiuni sedimentare slab tectonizate.

Forma obiectelor geologice influențează și ea informațiile geofizice, ca și mărimea acestora. În general, formele disjunctive cum sînt fracturile, dyke-urile, filoanele, zăcămintele stratiforme puternic redresate etc. în care se încadrează o mare parte din problemele geologiei zăcămintelor metalifere, sînt mai favorabile prospectării geofizice. Rezultate concludente se pot obține însă și pentru zăcămintă stratiforme orizontale sau suborizontale, zăcămintă masive de formă oarecare și altele, dacă mărimea lor este satisfăcătoare și adâncimea relativ mică. La unele acumulări de substanțe minerale utile, cum sînt zăcămintele stratiforme, de sulfuri complexe — compacte sau de impregnație — ori stratele de cărbuni, forma lor poate fi puternic complicată datorită accidentelor tectonice, ca falii cu săritură pe verticală sau falii de decroșare; acestea complică reflectarea lor în informațiile geofizice dar, în cazul în care adâncimea la care se găsesc nu este prea mare, prospecțiunea geofizică își conservă aplicabilitatea.

În legătură cu acești trei factori fizico-geologici care controlează aplicabilitatea prospecțiunilor geofizice mai apare și un al patrulea, și anume, *gradul de izolare al obiectelor geologice*. Se înțelege prin *izolare* sau *separare a obiectelor geologice* situația în care acestea găsindu-se în subsol la o adâncime comparabilă au între ele o distanță convenabilă, astfel încît efectele lor să se manifeste în informații geofizice bine individualizate. Cînd distanța dintre acestea este prea mică în raport cu adâncimea lor, apar efecte de cumul prin adăuine, cu alte cuvinte două sau chiar mai multe obiecte geologice ascunse pot să se reflecte într-o singură informație geofizică în care sînt cuprinse efectele individuale ale acestora.

Acest factor fizico-geologic influențează îndeosebi informația gravimetrică și, într-o măsură mai redusă, pe cea magnetică; el nu se face resimțit în celelalte metode de prospecțiune geofizică.

Caracteristicile limitelor geologice. Caracterizarea limitelor geologice după formă, geneză și contrast de proprietăți fizice, respectiv caractere litologice sau petrografice, este necesară din punctul de vedere al individualizării acumulărilor de substanțe minerale utile în raport cu masa rocilor în care acestea sînt găzduite.

În unele cazuri aceste limite sînt nete, tranșante, pe ele făcîndu-se trecerea bruscă de la o valoare a proprietății fizice (densitate, susceptibilitate magnetică etc.) la o alta sensibil diferită. Așa este cazul, de exemplu, cu masivele de sare, cu mineralizațiile masive care se conturează ca niște corpuri bine individualizate, cu unele strate de cărbuni, cu limita cuvertură sedimentară/fundament cristalin și altele. În astfel de situații prospecțiunea geofizică este favorizată în aplicarea ei.

În multe cazuri însă, saltul de proprietăți fizice nu este brusc ci progresiv. Ca exemple se pot da trecerea de la mineralizațiile masive la roca sterilă prin intermediul unei zone de impregnație, trecerea de la o rocă pelitică sau psamitică la cărbune prin intermediul unor marne sau sisturi cărbunoase, zăcămintă metalifere greu definibile ca formă cum sînt stock-urile, volburile etc. În situațiile în care zona de trecere este relativ de mică grosime, deși nu există o limită geologică netă, corpul geologic se manifestă ca avînd o astfel de limită, echivalentă, dar care în realitate nu are un corespondent fizic.

Atunci cînd se realizează situațiile la care ne-am referit mai sus, unor astfel de limite le corespund orizonturi geofizice de referință, foarte importante pentru interpretarea geologică a informațiilor geofizice. Dacă astfel de condiții nu sînt satisfăcute, și sîntem în prezența unor treceri gradate — progresive sau regresive — ale proprietăților fizice pe distanțe mari în raport cu dimensiunile corpului geologic de prospectat, informațiile geofizice obținute de la acesta sînt mai puțin concludente și interpretarea geologică a lor va avea un grad de încredere mai scăzut.

Caracterul limitelor geologice reprezintă factorul hotărîtor pentru informația seismică de reflexie. Pentru ca să existe o bună suprafață de reflexie în subsol, corespunzătoare unei limite litologice, stratigrafice sau paleogeografice, trebuie să fie îndeplinite următoarele cinci condiții:

- contrast de proprietăți elastice, respectiv valoare cît mai mare a coeficientului de reflexie;
- continuitate în suprafață cît mai mare a acestei limite, cu conservarea cît mai bună a valorii coeficientului de reflexie;
- caracter neted, „de oglindă”, a acesteia;
- înclinare care să nu depășească 15—25°;
- absența unor neomogenități locale care să genereze anomalii de viteză de propagare a undelor elastice în formațiunile geologice care acoperă suprafața de reflexie respectivă.

Dacă satisfacerea acestor condiții este deplină, atunci este asigurată existența unor orizonturi seismice de referință de foarte bună calitate, iar informația seismică va avea un grad de încredere foarte ridicat. În marea majoritate a cazurilor avem de-a face numai cu o satisfacere parțială, ceea ce conduce la informații seismice fragmentare; valoarea acestora este însă de necontestat, deoarece — în ansamblu — ele sugerează corect structura geologică ascunsă a subsolului.

Condițiile unei bune limite de reflexie sînt, în fapt, valabile și pentru celelalte informații geofizice, cu precizarea că pentru acestea din urmă cu cît înclinarea limitei geologice este mai mare, ideal verticală, cu atît aplicabilitatea metodelor geofizice respective este mai favorizată. Acest fapt este realizat în natură în foarte multe cazuri, în primul rînd pentru zăcămintele metalifere, datorită caracterului predominant discordant al acestora față de terenurile metamorfice și, mai ales, cele magmatice care le găzduiesc. Totuși, o caracteristică importantă a acestui tip de mineralizații este că ele au forme extrem de neregulate; aceasta face ca realizarea contrastelor de proprietăți fizice ale acumulărilor minerale față de roca-gazdă să aibă loc pe limite greu de definit și foarte diferite ca poziție în spațiu de la un caz la altul, variind de la cea verticală la cea orizontală.

Costul lucrărilor. În practica aplicării metodelor de prospecțiune geofizică trebuie ținut seama nu numai de problema geologică de rezolvat și de domeniul de aplicabilitate al diferitelor metode, ci și de costul lucrărilor respective. Așa dar, pe lîngă condiționările fizice și geologice mai apare și o condiționare economică la folosirea acestor metode de prospecțiune.

După cum a fost precizat mai înainte, fiecare tip de informație geofizică conține reflectarea unei laturi specifice a structurii geologice ascunse a subsolului. Varietatea acumulărilor de substanțe minerale utile face ca acestea să-și trădeze existența lor în una sau alta din informațiile geofizice. De exemplu, o mineralizație de sulfuri complexe poate să se reflecte mai evident în informația magnetică, dacă are un conținut mai ridicat în minerale feromagnetice (pirită, pirotină, magnetit, hematit etc.), sau în cea electrometrică, în cazul cînd astfel de minerale sînt conținute într-un procentaj mai scăzut și cînd structura și textura mineralizației este diferită. Din acest motiv, eficiența prospecțiunii geofizice la localizarea unor astfel de acumulări crește atunci cînd avem la dispoziție mai multe tipuri de informații geofizice sau, cum se mai spune, atunci cînd se efectuează prospecțiuni geofizice complexe.

Pe de altă parte, acumulările de substanțe minerale solide fiind în general de dimensiuni mici, cu grosimi de ordinul pînă la cîțiva metri, detectarea existenței acestora în subsol necesită prospecțiuni geofizice de mare detaliu. Din această cauză, astfel de prospecțiuni trebuie precedate de unele cu caracter mai regional, care să stabilească șansele de existență a unor anumite tipuri de acumulări de substanțe minerale, respectiv prin care să se descifreze structura geologică ascunsă, existența unor condiții metalogenetice de afiliație magmatică sau metamorfică, existența unor factori de control structural cum sînt de exemplu fracturile și altele.

Cu alte cuvinte, prospectarea geofizică a zăcămintelor minerale necesită aplicarea unui complex de metode geofizice, cel puțin în două faze diferite: una *regională* și una *locală, de mare detaliu*.

Este, de asemenea, de remarcat că metodele geofizice au nevoie de mijloace mai complicate și de o prelucrare mai laborioasă a rezultatelor, ceea ce face ca ele să fie mai costisitoare decît cele geologice sau geochimice. Astfel, luînd ca termen de comparație costul mediu anual al unei echipe-lună de prospecțiuni electrometrice care este cel mai coborît, costurile relative sînt cu 20% mai mari pentru o echipă de magnetometrie

la sol, cu 50% pentru o echipă de gravimetrie, cu 375% pentru una de aeromagnetism și cu 700% mai mari pentru o echipă de seismometrie.

Așa dar, în economia aplicării prospecțiunilor geofizice este necesar ca la proiectarea acestor lucrări să fie făcută o analiză foarte atentă a eficacității probabile a metodelor cît și a cheltuielilor ocazionate de folosirea lor, alegînd final acea metodă sau acel complex de metode pentru care cheltuielile care se vor efectua vor fi justificate prin natura și valoarea informațiilor geologice ce se vor obține.

2.2. COMPLEXUL DE METODE GEOFIZICE SPECIFIC PROBLEMELOR DE GEOLOGIE MINIERĂ

Geofizica este știința care se ocupă cu studiul proprietăților și al fenomenelor fizice ale Pămîntului, precum și cu legătura lor cu structura internă a acestuia. Partea aplicativă a acestei științe, în speță prospecțiunea geofizică, încorporează un complex de metode, tehnici și variante ale acestora relativ multe la număr, bazate pe fenomene fizice naturale sau provocate, și care au o caracteristică comună prin aceea că folosesc măsurători la suprafața Pămîntului, în aer, pe și sub apă sau în excavații miniere, detectînd variații legate de diferențierea proprietăților fizice ale mineralelor, rocilor sau formațiunilor geologice care sînt interpretate apoi în termeni geologici sub formă de structuri, accidente tectonice sau acumulări de substanțe minerale utile.

În cele ce urmează vom face o scurtă prezentare a metodelor geofizice și, îndeosebi, a acelor variante care interesează geologia minieră. Cititorul care este interesat în adîncirea problemelor de metodică și tehnică a acestui gen de prospecțiuni poate consulta lucrări apărute anterior în acest domeniu și anume: Botezatu (1964), Constantinescu et al. (1965), Socolescu (1967), Botezatu et al. (1976), Airinei (1977), Botezatu (1977), Zegheru și Albotă (1979).

2.2.1. PROSPECȚIUNEA GEOMAGNETICĂ

Pămîntul se manifestă în exteriorul lui ca un magnet, exercitînd forțe de atracție asupra oricărui magnet sau obiect constituit din metale feroase. Forța cu care acționează asupra unui corp de masă magnetică unitară poartă numele de *cîmp geomagnetic*.

Privit la scară planetară, cîmpul geomagnetic are o structură relativ regulată — destul de apropiată de aceea a cîmpului creat de un magnet în formă de bară — și o intensitate de valoare scăzută.

Unitatea CGS de intensitate a cîmpului magnetic poartă numele de *Oersted* și se notează cu 1 Oe. Ea reprezintă cîmpul creat de un pol magnetic (masă magnetică) unitar într-un punct situat la distanța de 1 cm, mediul fiind nemagnetic. Această unitate de măsură fiind prea mare pentru cîmpul geomagnetic, în prospecțiunea magnetică se folosește unitatea practică purtînd numele de *gamma*, relația dintre acestea fiind $1\gamma = 10^{-5}$ Oe.

Cîmpul geomagnetic prezintă variații atît în spațiu, de la un punct la altul pe suprafața Pămîntului ca și în aer pe măsură ce ne îndepărtăm de aceasta, cît și în timp.

Variațiile în spațiu se datoresc structurii interne a Pământului — nucleul și mantaua care produc partea regulată a cîmpului geomagnetic — precum și scoarței acestuia și îndeosebi a părții superioare a ei, unde au loc diferitele diferențieri ale rocilor și existența acumulărilor de substanțe minerale utile cu proprietăți magnetice ridicate. Acestea din urmă produc abateri de la aspectul regulat al cîmpului geomagnetic.

Configurația generală destul de regulată a distribuției cîmpului geomagnetic pe întreaga suprafață a Pământului a condus la ideea separării acestuia în două părți și anume: *cîmpul geomagnetic normal* (T_0) și *anomalia cîmpului geomagnetic* (ΔT). Acest lucru se exprimă analitic prin relația

$$T = T_0 + \Delta T$$

În general, cîmpul geomagnetic normal care, așa cum se deduce din cele arătate mai sus ar corespunde magnetizării practic uniforme a nucleului și mantalei Pământului, nu se poate evalua pe calea analitică; el este însă determinat în condiții satisfăcătoare pentru teritoriul unui stat prin măsurători în puncte în care practic anomalia ΔT este neglijabilă, astfel încît conform relației de mai sus putem considera $T_0 \cong T$.

Variațiile în timp, care pot fi periodice (cu perioadă de 11 ani și de 24 ore) sau neperiodice (furtuni magnetice, variații în golf, trenuri de unde etc.), se datoresc în principal unor fenomene de inducție ca urmare a ionizării păturii înalte a atmosferei terestre sub acțiunea fluxului variabil de particule electrizate emise de Soare în urma activității solare.

După cum rezultă din cele de mai sus, prospecțiunea geomagnetică are ca obiect punerea în evidență a anomaliilor cîmpului geomagnetic, respectiv a abaterilor de la valoarea normală a acestuia, produse de structura geologică ascunsă și de acumulările de substanțe minerale utile pe care aceasta le conține. Practic, obiectele geologice care se manifestă în această metodă de prospecțiune geofizică sînt în primul rînd produsele magmatismului de diverse tipuri în ceea ce privește descifrarea structurii geologice și acumulările de minerale feroase, îndeosebi de oxizi, prin ele însele, precum și orice alte mineralizații metalifere ori nemetalifere care au în paragenză prezența unor minerale feromagnetice.

Așadar, cîmpul geomagnetic are dimensiuni de forță.

Cîmpul magnetic produs de corpurile geologice care interesează prospecțiunea geomagnetică, respectiv ceea ce am numit mai sus anomalia geomagnetică pentru rațiuni care se vor vedea mai departe, are evident aceleași dimensiuni de forță și derivă, ca și cîmpul geomagnetic de altfel, dintr-un potențial.

Potențialul magnetic Ω produs într-un punct oarecare $P_0(x_0, y_0, z_0)$ al spațiului exterior de către un corp geologic de volum V caracterizat printr-o intensitate de magnetizare I orientată pe direcția i într-un punct curent $P(x, y, z)$ din interiorul corpului situat la distanța $u = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}$ este dat de relația

$$\Omega = \iiint_V I \cdot \frac{\partial}{\partial i} \left(\frac{1}{u} \right) \cdot dx dy dz,$$

iar cîmpul magnetic T produs de către acest corp în același punct P_0 va fi

$$T = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$$

în care

$$X = -\frac{\partial \Omega}{\partial x}; \quad Y = -\frac{\partial \Omega}{\partial y}; \quad Z = -\frac{\partial \Omega}{\partial z}.$$

Derivînd dintr-un potențial, cîmpul magnetic reprezintă de fapt un cîmp potențial.

Acestea fiind elementele de bază care fundamentează prospecțiunea geomagnetică, să vedem acum în ce constă practic aceasta.

Mărimile care se măsoară în acest gen de prospecțiune geofizică sînt fie variațiile în cadrul unei anumite suprafețe a componentelor verticală (ΔZ) sau orizontală (ΔH) a cîmpului geomagnetic, fie ale intensității acestuia (ΔT). Aparatele folosite poartă numele de *magnetometre* și pot fi bazate pe principii constructive diferite și anume: balanțe magnetice, sonde cu saturație, precesie protonică sau pompaj optic. Precizia de măsurare variază de la un tip la altul și este cuprinsă între $\pm 30 \gamma$ și $\pm 0,1 \gamma$.

Măsurătorile la sol se execută în puncte situate pe profile care urmăresc căile de acces (drumuri, poteci, văi și interfluvii), astfel încît să se asigure o distribuție cît mai uniformă a punctelor de măsură în cuprinsul suprafeței de prospectat în cazul lucrărilor cu caracter regional, precum și în rețele geometrice de puncte în cazul lucrărilor de detaliu și mare detaliu. Măsurătorile aeromagnetice cu avioane sau elicoptere se realizează prin înregistrarea continuă a mărimii magnetice determinate de-a lungul unor profile liniare, folosind în general un plafon constant de zbor. În toate cazurile, valorile determinate au un caracter relativ, reprezentînd variații față de o valoare absolută sau arbitrar aleasă a unui punct din cuprinsul suprafeței de prospectat ori din vecinătatea acestuia.

Valorile brute măsurate ale diferitelor mărimi magnetice, pentru a fi comparabile între ele, sînt corectate cu efectele variațiilor de temperatură și ale variației diurne a cîmpului geomagnetic din intervalul de timp al zilei în care au fost determinate în grupul de stații sau de profile respective. În modul acesta se constituie un sistem unitar, omogen și coerent de valori în raport cu situația de bază a lucrării.

Aplicarea, pentru fiecare valoare, a reducerii de cîmp normal, le transformă pe acestea în valori ale anomaliilor cîmpului geomagnetic, respectiv a uneia din componentele acestuia, mărime care reflectă acum numai influența corpurilor geologice din subsol.

Prezentarea rezultatelor prospecțiunii geomagnetice se face sub formă de *hărți cu curbe de egală valoare* sau sub formă de *profile de variație a anomaliilor geomagnetice*. Acestea sînt cele două tipuri cartografice pe care le poate lua informația magnetică într-o regiune prospectată geofizic prin această metodă și care urmează a fi interpretată în termeni geologici pentru localizarea și conturarea maselor magnetice perturbante din subsol.

2.2.2. PROSPECȚIUNEA GRAVIMETRICĂ

Prospecțiunea gravimetrică se bazează pe un alt cîmp potențial și anume *cîmpul gravitației*.

Ori unde există corpuri, deci mase materiale, există și forțe de atracție între acestea. Acest adevăr a fost stabilit de *Newton* în anul 1666.

Pământul fiind un corp cu o mare masă materială, va exercita o forță de atracție asupra oricărui alt corp situat pe suprafața sau în exteriorul lui. Pe de altă parte,

Pământul este un corp în rotație, astfel încât asupra corpurilor de pe suprafața lui va acționa nu numai o forță de atracție spre Pământ ci și una centrifugă care va tinde să le deplaseze spre spațiul exterior pe direcția razei de rotație. Deoarece raportul intensităților acestor două forțe este net în favoarea celei de atracție — cea de rotație având valori cuprinse între 0 la Poli și circa 1/300 din prima la Ecuator — dominantă ca direcție, intensitate și sens rămâne componenta de atracție.

În acord cu cele precizate mai sus, câmpul gravitației — care se notează cu g — este definit ca fiind forța cu care acționează Pământul în rotație asupra unui corp de masă unitară situat pe suprafața acestuia sau în exteriorul lui.

Unitatea CGS de intensitate a câmpului gravitației se numește *gal* și are dimensiunile 1 cm s^{-2} . Deoarece această unitate este prea mare pentru nevoile practice ale prospecțiunii gravimetrice, se folosește un submultiplu al ei și anume *miligalul*, relația dintre acestea fiind $1 \text{ mgal} = 10^{-3} \text{ gal}$.

Ca și câmpul geomagnetic, cel al gravitației prezintă variații în spațiu și în timp.

Variațiile în timp se datoresc interacțiunii atractive dintre Pământ, Soare și Lună, ultimele două ca principalele corpuri cerești care își manifestă prezența din acest punct de vedere. Aceste variații, al căror efect ia forma unor marea terestre, au o predominantă periodicitate diurnă și o intensitate mică ce nu depășește ca ordin de mărime $0,2 \text{ mgal}$ în țara noastră; în general, influența lor este neglijată în prospecțiunea gravimetrică.

Variațiile în spațiu, de la un punct la altul pe suprafața Pământului, ca și pe verticală spre exterior sau spre interior (în puturi de mină sau în găuri de sondă) se datoresc masei interne a acestuia. Și în cazul gravimetriei distingem o parte regulată, datorată atracției nucleului, mantalei și scoarței, care poartă numele de *câmp normal* și se notează cu γ_0 . Acest câmp normal este evaluat analitic în ipoteza că Pământul are forma definită de elipsoidul geodezic de referință adoptat internațional și o distribuție de masă cu caracter omogen în interiorul lui. Față de acest câmp al gravitației, normal, care prezintă un aspect general regulat pe suprafața Pământului, structurile geologice și acumulările de substanțe minerale utile din zonele superioare ale scoarței acestuia, realizând contraste pozitive sau negative de densitate și de masă față de formațiunile înconjurătoare, exercită atracții care reprezintă abateri de la valoarea normală sau, în termeni uzuali, *anomalii gravimetrice*. Acestea sînt cele care fac obiectul prospecțiunii gravimetrice și care vor trebui interpretate în termeni geologici sub formă de structuri, accidente tectonice sau acumulări de substanțe minerale utile.

Spre deosebire de proprietățile magnetice care caracterizează numai o parte din rocile sau mineralele care intră, în diferite forme, în alcătuirea scoarței terestre, densitatea este o proprietate generală astfel încât toate formațiunile geologice ale scoarței se vor manifesta — cu o pondere diferită corelativ cu contrastul de densitate și de masă al lor — în câmpul gravitației.

Ceea ce interesează deci prospecțiunea gravimetrică sînt anomaliile gravitației produse de corpurile geologice ascunse care ar putea avea un interes economic.

Potențialul gravitației produs într-un punct oarecare $P_0(x_0, y_0, z_0)$ al spațiului exterior de către un corp geologic de volum V caracterizat printr-o densitate δ într-un punct curent $P(x, y, z)$ din interiorul corpului situat la distanța $u = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}$ este dat de relația

$$W = G \cdot \iiint_V \delta \cdot \frac{1}{u} \cdot dx \cdot dy \cdot dz,$$

iar câmpul gravitației g produs de către acest corp în același punct exterior P_0 va fi

$$g \cong G \cdot \iiint_V \delta \cdot \frac{z}{u^3} \cdot dx \cdot dy \cdot dz.$$

După cum se poate remarca, g a fost identificat cu derivata parțială după direcția verticală a potențialului gravitației, respectiv $\partial W / \partial z$, deoarece componenta de rotație nu modifică practic direcția verticală a celei de atracție. În relațiile de mai sus G reprezintă constanta atracției universale avînd valoarea de $6,67 \cdot 10^{-8} \text{ uCGS}$.

Așadar, ceea ce se măsoară în cadrul prospecțiunii gravimetrice este câmpul gravitației g . Aparatele folosite poartă numele de *gravimetre statice*, elementele sensibile la variațiile câmpului gravitației, fiind în majoritatea cazurilor sisteme de mase suspendate pe mai multe arcuri, atît unele cit și celelalte confecționate din metal sau cuarț topit, și atingînd precizii de ordinul $\pm 0,03 \text{ mgal}$.

Măsurătorile au un caracter relativ, ca diferențe față de o stație de bază cu valoare cunoscută din lucrări anterioare sau arbitrar aleasă, și se execută pe cicluri de stații grupate pe profile, într-o rețea oarecare sau geometrică, după caracterul lucrării — de recunoaștere, detaliu sau mare detaliu. Diferențele de gravitate obținute între capetele ciclurilor executate în cuprinsul ariei prospectate sînt puse cap la cap și combinate astfel încît să se obțină poligoane închise, transversale și bucle exterioare, pentru ca să se poată controla calitatea valorilor măsurate. Erorile de închidere se compensează pe circuite închise. În felul acesta se constituie rețeaua de gravitate măsurată compensată, care conține valorile relative ale câmpului gravitației pentru întreaga rețea de stații gravimetrice în aria prospectată, ca un sistem omogen și coerent de valori ale gravitației.

Pentru a obține anomalia câmpului gravitației este necesară aplicarea în continuare a unor reduceri geofizice pentru valorile la care ne-am referit mai sus. Aceste reduceri, în afară de cea de câmp normal, urmăresc să elimine atracțiile exercitate de masele reprezentate de relieful topografic și de formațiunile geologice care se găsesc pînă la suprafața elipsoidului geodezic de referință, ca și efectul diferenței de nivel dintre poziția stației pe relief și suprafața de reducere. Eliberate de aceste influențe, valorile relative ale lui g măsurate și compensate devin g'' raportate la o suprafață unică, identică cu aceea pentru care au fost determinate valorile γ_0 , și deci comparabile între ele. Astfel, *anomalia câmpului gravitației* se exprimă ca

$$\Delta g'' = g'' - \gamma_0$$

și aceasta este mărimea care reflectă numai efectul corpurilor geologice ascunse.

Reprezentarea cartografică a anomaliilor câmpului gravitației, care reprezintă în fapt informația gravimetrică, se poate face în două moduri: fie sub formă de hărți cu curbe de egală valoare, fie sub formă de profile de variație a acesteia.

2.2.3. PROSPECȚIUNEA ELECTROMETRICĂ

Prospecțiunea electrometrică și, mai ales, cea pentru minereuri, cuprinde un număr relativ mare de metode și tehnici bazate pe fenomene electrice diferite cum sînt: existența unor electropotențiale naturale sau răspunsul structurii geologice la excitația acesteia cu un curent continuu ori alternativ, ultimul într-un domeniu mare de

frecvență care se înscrie între 5 cicli/s și 5 megacicli/s. În cele ce urmează ne vom referi numai la trei din aceste metode a căror aplicabilitate s-a dovedit cu rezultatele cele mai concludente în condițiile specifice ale structurii geologice și mineralizațiilor din țara noastră.

Prospecțiunea prin metoda potențialului natural. Această metodă se bazează, în primul rând, pe activitatea electrochimică naturală care are loc în anumite condiții de zăcămint ale rocilor sau mineralizațiilor în urma căreia, în spațiul înconjurător acestora din subsol, apare un câmp electric propriu.

Fenomenele electrochimice principale sînt *oxidarea* și *reducerea*. Prin oxidare, roca sau mineralul pierde o cantitate de electroni, rămînînd cu o sarcină electrică pozitivă; prin reducere (cementare), fenomenul are loc invers, roca sau mineralul prezentînd o sarcină electrică negativă.

Potențiale electrice de oxidare și reducere apar îndeosebi la mineralizațiile de sulfuri metalice (mai ales pirită), oxizi (magnetit, hematit etc.), cărbuni de pămînt (ligniți inferiori, huiă, antracit), grafit și roci grafitoase. Astfel de electropotențiale nu apar însă decît în cazul în care fenomenul de oxidare este însoțit de cel de reducere, ceea ce are loc numai dacă acumularea de substanțe minerale utile îndeplinește următoarele patru condiții necesare și suficiente:

- să fie constituită dintr-o substanță bună conducătoare de electricitate;
- să aibă continuitate, adică granulele minerale să se atingă între ele;
- să se dezvolte pe verticală, astfel încît partea superioară a ei să se găsească deasupra nivelului hidrostatic al regiunii;
- substanța din care este constituită acumularea să fie oxidabilă.

În aceste condiții și numai în acestea, acumularea respectivă va suferi un fenomen de oxidare la partea ei superioară și unul de reducere la partea ei inferioară, căpătînd funcțiunea unei pile electrice naturale. În modul acesta, la suprafața solului apare o zonă de potențial electric negativ care poate fi pusă în evidență prin prospecțiunea geofizică și care trădează existența acumulării minerale ascunse la care a avut loc fenomenul electrochimic descris mai sus.

Electropotențialele naturale pot să mai apară și datorită unor fenomene fizice legate de circulația apelor mineralizate cum sînt difuzia, adsorbția, filtrarea și ascensiunea acestora prin capilaritate; aceste fenomene sînt însă mai puțin importante în prospecțiunea geofizică minieră.

Prospecțiunea electrometrică prin metoda potențialului natural constă în determinarea diferențelor de potențial între puncte echidistante la 10—50 m, situate pe profile liniare și constituind o rețea pătratică sau dreptunghiulară de puncte de măsură. Aceste diferențe măsurate între două puncte învecinate se însumează algebric progresiv de-a lungul profilelor, obținîndu-se astfel variația potențialului natural pe fiecare profil în parte. Echipamentul folosit la acest gen de prospecțiune geofizică este constituit dintr-un potențiomtru cu care se determină diferențele de potențial, electrozi nepolarizabili și cabluri electrice.

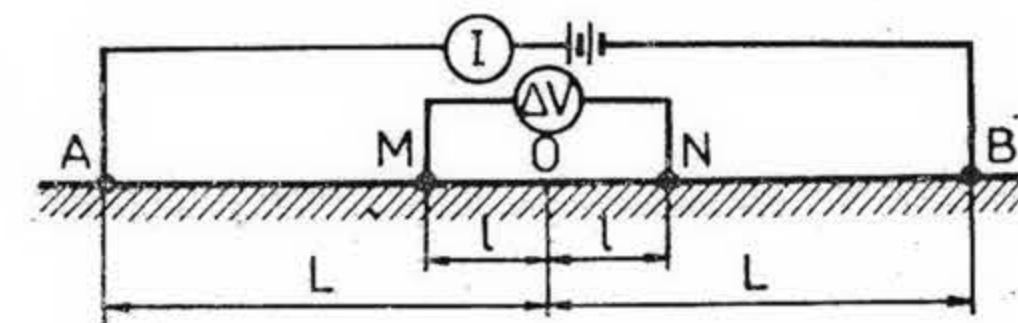
Rezultatele prospecțiunii prin această metodă se reprezintă cartografic sub formă de hărți cu curbe de egală valoare sau profile de variație a acestei mărimi care reprezintă cele două feluri de materializare ale informației geofizice obținută pe această cale.

Prospecțiunea prin metoda rezistivităților. Este metoda cu cea mai largă aplicabilitate din categoria celor care se bazează pe introducerea unui curent electric continuu în subsol.

Mărimea fizică ce se determină în acest gen de prospecțiune geofizică este rezistivitatea aparentă ρ_a . Un dispozitiv de măsurare a rezistivității aparente (fig. X.38)

se compune dintr-o linie de alimentare AB prin care se introduce un curent continuu în subsol (doi electrozi simpli A și B , cabluri electrice și un generator de curent continuu care debitează un curent electric de intensitate I) și o linie de măsură MN (doi electrozi nepolarizabili M și N , cabluri electrice și un potențiomtru pentru determinarea diferenței de potențial ΔV care apare între M și N). Se demonstrează că

Fig. X.38. Exemplu de dispozitiv AMNB pentru determinarea rezistivității aparente.



valoarea rezistivității aparente și care se raportează în punctul situat la mijlocul liniei de măsură se obține din relația

$$\rho_a = K \frac{\Delta V_{MN}}{I}$$

în care K reprezintă o constantă care depinde de geometria fiecărui dispozitiv, respectiv de cele patru distanțe dintre electrozii de alimentare și cei de măsură, precum și de factorul de spațiu 2π .

În practică se folosesc dispozitive cuadrupolare AMNB cu geometrii diferite și anume: cu cei patru electrozi așezați colinar și simetrici doi câte doi față de centrul dispozitivului (Schlumberger) sau echidistanți între ei (Wenner), ori cu trei electrozi apropiați și unul foarte îndepărtat, cu liniile AB și MN separate și coliniare sau necoliniare (pol-dipol și dipol-dipol) și altele.

Ca semnificație fizică, *rezistivitatea aparentă* reprezintă valoarea rezistivității unui subsol ipotetic, omogen și izotrop din punct de vedere electric, mărginit de suprafețe plane și orizontale, care ar da aceeași valoare a diferenței de potențial ΔV măsurată în condiții experimentale similare, respectiv cu același dispozitiv AMNB și folosind aceeași intensitate de curent I . În realitate, subsolul neavînd o stratificație orizontală și nefiînd nici omogen și izotrop, rezistivitatea aparentă ρ_a reprezintă media ponderată a rezistivităților specifice ale rocilor care îl constituie, obținută prin măsurători de suprafață a diferenței de potențial și a intensității curentului electric, cu un dispozitiv cuadrupolar adecvat.

Mai este necesar de precizat un lucru important și anume că adîncimea de investigație a unui dispozitiv AMNB este de 0,2 pînă la 0,5 din lungimea liniei de alimentare AB . Cu alte cuvinte, valoarea rezistivității aparente ρ_a determinată pe această cale reprezintă media ponderată a rezistivităților specifice a rocilor din subsol pe o grosime, considerată de la suprafața solului, de 0,2—0,5 din lungimea liniei de alimentare folosite.

Metoda rezistivității poate fi utilizată în două variante:

— Una este așa-numita *profilare electrică*, utilizînd un dispozitiv AMNB de tip *Wenner* cu geometrie fixă, care este deplasat succesiv cu o anumită distanță de-a lungul unor profile paralele. Valorile ρ_a astfel obținute, comparabile între ele deoarece se referă la aceeași adîncime de investigație, servesc la consturirea unor hărți cu curbe de egală valoare a acestei mărimi care reprezintă informația geofizică în acest caz. În funcție de caracteristicile geologice ale regiunii de prospectat pot fi folosite și alte

tipuri de dispozitive, ca de exemplu dipol-dipol, ceea ce nu schimbă însă cu nimic natura informației geofizice dar, pentru anumite situații particulare o îmbogățește în conținut.

— Cea de-a doua variantă este *sondajul electric vertical*. În acest caz se determină variația rezistivității aparente cu adâncimea, într-un sistem de puncte care aparțin unei configurații geometrice sau de o formă oarecare situate la suprafața solului. Acest lucru este posibil prin modificarea succesivă în fiecare punct a lungimii liniei de alimentare AB , linia de măsură MN fiind menținută practic constantă. Dispozitivul cuadripolar folosit este de tip *Schlumberger*. Pentru fiecare lungime AB din cadrul unui sondaj electric vertical se determină valoarea rezistivității aparente și acest sistem de valori este proiectat pe o hîrtie dublulogaritmă în raport cu semilungimea liniei AB respective, valorile fiind apoi unite printr-o curbă continuă. Acest grafic, reprezentînd *diagrama sondajului electric vertical*, oferă o indicație asupra variației cu adâncimea rezistivităților specifice ale rocilor din subsol și reprezintă informația geofizică furnizată de sondajul electric vertical.

Metoda rezistivităților este aplicabilă practic în orice problemă de geologie minieră.

Prospecțiunea prin metoda polarizației induse. Polarizația indusă apare în anumite situații geologice, atunci cînd în subsol este introdus un curent continuu — pulsant într-un singur sens sau în ambele sensuri — ori un curent alternativ. Această manifestare electrică are la bază două fenomene de natură diferită, așa cum se arată mai jos.

Unul din acestea este *polarizația de electrod*. Așa cum s-a mai arătat, rocile fiind niște agregate poliminerale reprezintă medii de mare complexitate pentru propagarea curentului electric prin ele, conținînd granule de minerale metalice cu conductibilitate electronică și de alte minerale care se comportă practic ca niște dielectrici, precum și apă cu un oarecare grad de mineralizare caracterizată prin conductibilitate ionică.

Dacă un astfel de mediu este supus unei diferențe de potențial electric, la trecerea curentului printr-o granulă metalică se formează pe suprafețele interioare ale acesteia un strat electric simplu — negativ în zona de intrare a curentului și pozitiv în cea de ieșire a lui —, care vor atrage din soluție ioni liberi de semn contrar. În modul acesta se vor constitui, în cele două zone ale granulei metalice, două straturi electrice duble cu polaritate opusă.

La întreruperea diferenței de potențial aplicate, aceste straturi duble se distrug. Sarcinile electrice din interiorul granulei se neutralizează reciproc, refăcîndu-se echilibrul electric inițial al acesteia. Sarcinile ionilor concentrați pe cele două fețe exterioare opuse ale granulei dau acesteia caracterul unui mic condensator care se descarcă.

Descărcarea simultană a tuturor acestor mici condensatori în masa rocii, la întreruperea curentului electric, reprezintă tocmai polarizația indusă care dispare într-un timp scurt prin redistribuirea uniformă a ionilor în soluție.

Acest fenomen stă la baza prospectării geofizice a mineralizațiilor cu conținut scăzut în metal (de tip „porphyry copper”, de impregnație etc.).

Cel de-al doilea fenomen generator de polarizație indusă este așa numita *polarizație de membrană*, caracteristică rocilor predominant argiloase. Dacă o astfel de rocă este supusă unei diferențe de potențial, ioni din soluția care îmbibă porii rocii sînt puși în mișcare, iar granulele de minerale argiloase au un rol de adsorbție selectivă (electrodializă) a acestora. Mobilitatea diferită a ionilor, mai mare a cationilor și mai mică a anionilor, generează gradienti de concentrare ionică și prin aceasta efecte de polarizație indusă care, de asemenea, dispar după un timp scurt de la întreruperea aplicării diferenței de potențial, datorită redistribuirii în forma inițială a ionilor în soluția mineralizată.

Acest fenomen stă la baza prospectării geofizice a zonelor de alterare hidrotermală — în sensul caolinizării — a rocilor magmatice, zone cărora le sînt afiliate procese de metalogeneză și mineralizații auro-argentifere și de sulfuri complexe de tip filonian, volburi etc.

Prospecțiunea prin metoda polarizației induse se poate realiza în două moduri, conducînd la mărimi fizice cu dimensiuni diferite. Trebuie totuși precizat de la început că în ceea ce privește conținutul geologic al informațiilor nu există deosebiri esențiale între acestea.

O formă de astfel de prospecțiune este cea din domeniul timp, la care se folosește un curent electric continuu, pulsant de obicei în ambele sensuri. În acest caz se măsoară următorii doi parametri:

— *polarizabilitatea aparentă* η_a

$$\eta_a = \frac{\Delta V_{PP}}{\Delta V_{MN}}$$

care se exprimă în % sau în mV/V și reprezintă raportul dintre diferența de potențial indus determinată la un interval foarte scurt după întreruperea curentului electric și diferența de potențial care apare în timpul introducerii curentului electric;

— *factorul de încărcare* M_a

$$M_a = \int_0^t \frac{\Delta V_{PP}}{\Delta V_{MN}} dt$$

care se exprimă în milisecunde.

Cea de-a doua formă este în domeniul frecvență, pentru care se folosește curent electric alternativ. Se măsoară următorii doi parametri:

— primul este *efectul de frecvență* F_e

$$F_e = \frac{\rho_{a1} - \rho_{a2}}{\rho_{a1}}$$

exprimat în procente, ρ_{a1} și ρ_{a2} reprezentînd rezistivitățile aparente pentru frecvența cea mai joasă, respectiv cea mai înaltă, a curentului introdus în subsol;

— al doilea parametru, în acest caz, este *factorul metalic* M_f

$$M_f = \frac{F_e}{\rho_{a1}} \cdot C$$

care are dimensiuni de conductibilitate electrică, C fiind o constantă fără dimensiuni.

Dispozitivele de măsură pentru acest gen de prospecțiune geofizică sînt de tip AMNB, asemănătoare cu cele folosite în metoda rezistivităților, cu preferință pentru cele dipol-dipol sau pol-dipol, cînd se execută profilare electrică, și pentru cel de tip *Schlumberger*, cînd se execută sondaj vertical de polarizație indusă. Echipamentul pentru linia AB este ceva mai complicat, în afară de generatorul de curent (în cazul în care folosim curent continuu mai este necesar un pulsator și un inversor de curent) mai conținînd un timer electronic. Cel pentru linia de măsură MN este, de asemenea, mai complex, conținînd o rețea integratoare, amplificatoare și un oscilograf înregistrator.

Este, de asemenea, de precizat că cu un același dispozitiv se determină întotdeauna și rezistivitatea aparentă ρ_a .

Informația geofizică obținută prin metoda polarizației induse se concretizează în hărți cu curbe de egală valoare, diagrame de sondaj și secțiuni geoelectrice a diferiților parametri folosiți în această metodă.

2.2.4. PROSPECȚIUNEA RADIOMETRICĂ

Acest gen de prospecțiune geofizică are ca obiect punerea în evidență a anomaliilor intensității radiației γ ca urmare a dezintegrării naturale a mineralelor elementelor radioactive acumulate în zăcămintele sau asociate unor alte tipuri de mineralizații, mai frecvent de elemente rare și disperse ori de minerale grele.

Mărimea fizică determinată este *intensitatea radiației γ globale*, în care caz se folosesc radiometre bazate fie pe ionizarea aerului la sol sau ionizarea unui amestec de gaze, fie pe fenomenul de scintilație. Introducerea mai recentă a spectrometriei permite ca pe lângă intensitatea radiației γ globale să se determine și separat componentele acesteia, respectiv cele uranică, thorică și potasică. Se mai poate determina și concentrația radonului sau thoronului în probe de aer din sol, folosind emanometre bazate pe ionizarea acestuia, concentrații care sînt proporționale tot cu intensitatea radiației γ globale.

Lucrările de prospecțiune radiometrică pot fi executate cu aparatură aerportată de elicoptere sau avioane, ori prin măsurători cu radiometre sau emanometre în diferite puncte la sol situate la distanțe de zeci sau sute de metri, atunci cînd au caracter regional; pentru lucrări de detaliu se realizează numai măsurători la sol, în rețele de puncte cu configurație geometrică sau oarecare, dar situate la distanțe de ordinul metrilor sau a cîteva zeci de metri între ele.

Valoarea brută a intensității radiației γ globale, în afară de efectul corpurilor geologice din subsol care prezintă interes, mai conține o serie de efecte provenite de la cauze neinteresante și de care trebuie să fie eliberate. Aceasta se realizează prin aplicarea următoarelor reduceri: de fond radiometric (efectele radiației cosmice, a materialelor din care este construit aparatul de măsură și a formațiunilor geologice superficiale), de altitudine, de latitudine geomagnetică și de relief topografic.

După îndepărtarea acestor efecte se obține anomalia intensității radiației γ globale în fiecare punct de măsurare, care servește la construirea de hărți cu curbe de egală valoare sau de profile de variație a acestei mărimi. Aceste două forme de exprimare cartografică reprezintă informația geofizică obținută prin această metodă de prospecțiune.

2.2.5. PROSPECȚIUNEA SEISMOMETRICĂ

Această metodă de prospecțiune geofizică este destinată aproape în exclusivitate studierii structurii cuverturilor sedimentare și se bazează pe producerea la suprafață sau la adîncimi mici a unui cîmp de unde elastice — din care utile prospecțiunii sînt numai cele longitudinale — și valorificarea acelor unde care, fiind deviate din drumul lor spre în jos prin reflexie sau refracție pe anumite limite de separație dintre roci sau formațiuni geologice, se reîntorc la suprafață unde sînt înregistrate la intervale de timp riguros determinate față de momentul producerii lor. Devierea undelor elastice pe

limite de separație care despart medii cu viteze de propagare v_1 și v_2 este controlată de *legea lui Snell*

$$\frac{\sin i}{\sin d} = \frac{v_1}{v_2}$$

în care i și d sînt unghiurile de incidență, respectiv de deviere, pe limita de separație.

Echipamentul folosit în prospecțiunea seismometrică este foarte complicat, de fapt cel mai complicat dintre toate metodele geofizice.

Pentru producerea cîmpurilor de unde elastice se folosesc explozii cu cantități relativ mici de exploziv care se produc în găuri burate, săpate cu instalații autopurtate de foraj sau manual; condiția este ca explozia să aibă loc în roca vie, respectiv gaura să depășească grosimea stratului de suprafață care este caracterizat prin viteze mici, fiind constituit din roci slab consolidate — în general cuaternare — sau alterate.

Înregistrarea sosirii la suprafață a undelor elastice deviate de diferite limite de separație din subsol se face pe o seismogramă, pe care se poate determina atît momentul exploziei cît și sosirile diferitelor unde. Obținerea acestor înregistrări se realizează, pentru un punct oarecare situat la o distanță anumită de punctul de explozie, folosind un canal seismic și o cameră de înregistrare. Un canal seismic este compus dintr-un geofon (traductor de semnal care transformă oscilațiile solului apărute în momentul sosirii undeii în variații de curent electric) plasat în punctul respectiv, cablu electric, o aparatură de prelucrare a semnalului (amplificatoare, filtre, regulator de amplitudine, mixer etc.) și un galvanometru (traductor de semnal care transformă variațiile de curent electric din nou în deplasări). Camera de înregistrare conține un tambur acționat de un motor electric, pe tambur derulîndu-se o bandă de hîrtie fotosensibilă sau un film foto pe care cade spotul luminos reflectat de oglinda galvanometrului, un marcator de timp și alte elemente cu funcțiuni auxiliare. Cu o astfel de aparatură se obține o înregistrare oscilografică.

Mai nou a fost realizată aparatură seismică cu înregistrare magnetică, analogică sau digitală. Diferența dintre acestea și cea cu înregistrare oscilografică constă în faptul că la canalul seismic galvanometrul este înlocuit cu un cap electromagnetic de înregistrare și, semnalul seismic brut, fără a fi prelucrat electronic, este înregistrat direct pe o bandă magnetică ce reprezintă acum magnetoseismograma. Prelucrarea magnetoseismogramei are loc într-un analizor care permite să se realizeze o serie de prelucrări (filtrări, amplificări, convoluții, auto și retrocorelații etc.) și transformate în reprezentări grafice cu ajutorul unui cap de redare.

Prospecțiunea seismometrică se execută pe profile liniare, constituite din dispozitive succesive. Un dispozitiv conține un punct de explozie și o serie de puncte de înregistrare, echidistante și situate la intervale diferite în funcție de metoda folosită — *refracție* sau *reflexie* — și de numărul canalelor echipamentului de înregistrare care poate fi, în general, între 6 și 48.

În geologia minieră se folosesc ambele variante ale prospecțiunii seismometrice.

Pentru acumulările reziduale de bauxită sau pentru masivele de sare, mai eficientă este varianta bazată pe refracția undelor elastice. În acest caz se folosește unda directă, care se propagă prin limita aer/sol și unda frontală care se propagă prin limita de separație cu viteza mediului inferior v_2 . În ipoteza că limita de separație este orizontală, iar mediile sînt omogene și izotrope din punct de vedere elastic, timpîi

de propagare ai acestor două unde pînă la un geofon situat la distanța x de punctul de explozie vor fi

$$t_1 = \frac{x}{v_1}$$

și

$$t_2 = \frac{x}{v_2} + \frac{2z \cdot \cos i_c}{v_1}$$

z fiind adîncimea limitei de separație, iar i_c unghiul critic de incidență care generează unda frontală.

După cum se poate lesne remarca, relațiile de mai sus — care mai poartă numele și de *ecuațiile hodografului undelor refractate* — au ca echivalent geometric prima o semidreaptă care trece prin origine și are panta $1/v_1$ și a doua o semidreaptă care nu trece prin origine și are panta $1/v_2$. Reprezentarea grafică într-un sistem de coordonate cu x în abscisă și t în ordonată oferă toate elementele pentru determinarea adîncimii z a suprafeței de refracție, v_1 și v_2 fiind determinați din pantele segmentelor din grafic, iar i_c fiind — conform legii lui Snell pentru $d = 90^\circ$ — dat de relația $\sin i_c = v_1/v_2$ (fig. X.39).

S-a schițat în cele de mai sus calea de rezolvare a problemei pentru o limită de separație orizontală, deoarece relațiile drum-timp în acest caz sînt mai simple.

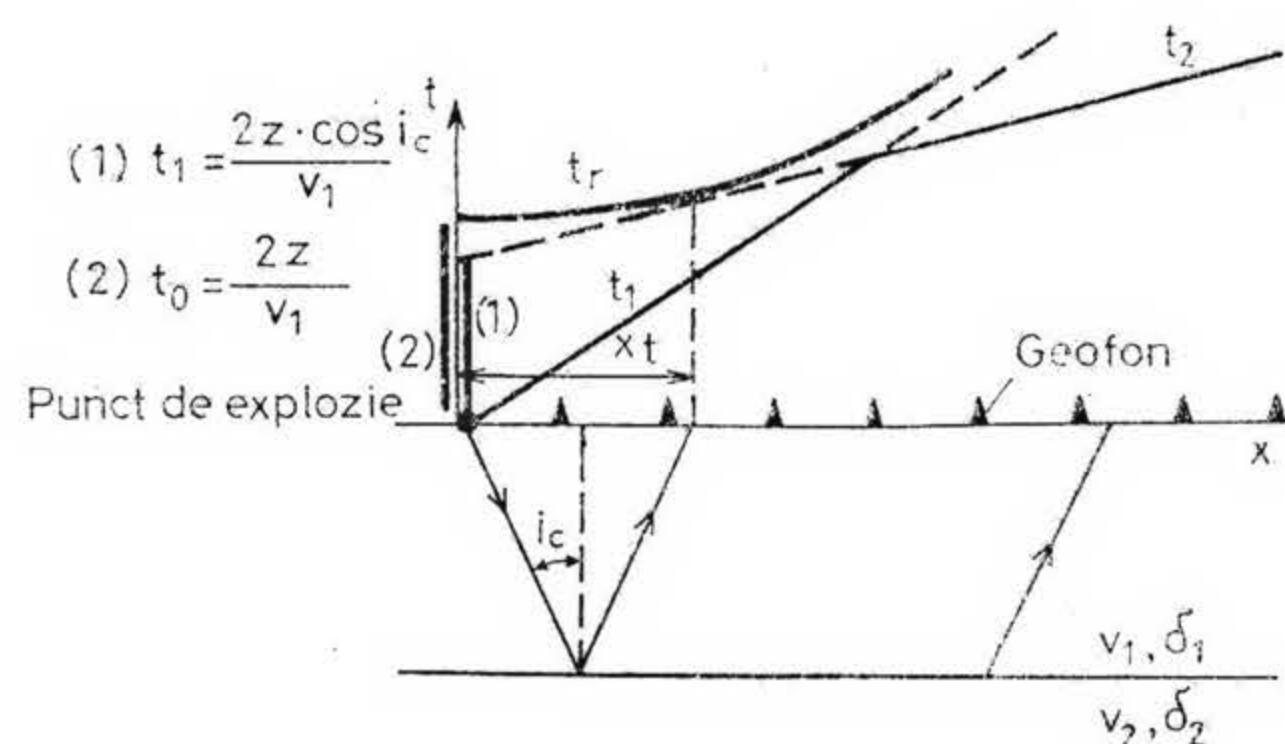


Fig. X.39. Hodograful de reflexie și refracție în cazul unei limite de separație orizontală.

Principial însă, problema are soluție și pentru o limită de formă oarecare, de altfel cazul real întîlnit în natură și rezolvabil prin această variantă.

Pentru acumulările stratiforme de cărbuni, rocă cu sulf, gresii fosforice și altele, situate la adîncimi mai mari, mai eficientă este varianta de prospecție seismometrică bazată pe reflexia undelor elastice. Reflexia acestor unde are loc atunci cînd unghiul de incidență este mai mic decît unghiul critic i_c , astfel încît unda să se reîntoarcă la suprafață prin același mediu prin care s-a propagat către în jos.

Vom arăta și pentru această variantă, principial, care este soluția problemei, pornind tot de la cazul cel mai simplu, și anume al unei limite orizontale de separație care desparte două medii omogene și izotrope din punct de vedere elastic. În această situație, ecuația hodografului unei reflectate pentru un punct oarecare situat la distanța x de punctul de explozie este

$$t = \frac{1}{v_1} \sqrt{x^2 + 4z^2}$$

z fiind și în acest caz adîncimea limitei de separație, respectiv a suprafeței de reflexie.

De data aceasta, echivalentul geometric al ecuației drum-timp nu mai este o semidreaptă, ci o hiperbolă. Este clar că cunoscînd pe x și v_1 , se poate determina imediat adîncimea z . În practică, se construiește și pentru acest caz un grafic în raport cu x și t , din care se poate deduce atît viteza v_1 cît și adîncimea z . Și pentru reflexie, trecerea de la o limită orizontală la una înclinată sau de formă oarecare se face fără dificultăți de principiu.

Intervalele de timp scurse între momentul exploziei și sosirea undelor elastice la fiecare geofon, notate în relațiile de mai sus cu t și care sînt măsurate pe seismograme, trebuie în prealabil corectate cu efectul reliefului (diferența de cotă topografică între punctul de explozie și geofon), precum și cu efectul zonei de viteze mici de la suprafață. După aceea se construiesc hodograful și se determină forma și poziția în adîncime a suprafețelor de refracție, respectiv de reflexie.

Rezultatele prospecțiunii seismometrice se concretizează în secțiuni seismice conținînd, în planul vertical al profilului, suprafețele de refracție sau de reflexie. Pe baza unui sistem de profile, care au și puncte comune între ele, se pot construi apoi hărți structurale cu izobate pentru fiecare suprafață de deviere a undelor elastice. Acestea sînt formele pe care le îmbracă informația geofizică în cazul acestei metode de prospecție.

2.2.6. PROSPECȚIUNEA GEOTERMICĂ

Prospecțiunea geotermică are ca obiect determinarea anomaliilor de temperatură la suprafața Pămîntului, ca rezultat al existenței unor cîmpuri termice naturale de răspîndire locală, care iau naștere datorită unor reacții exotermice (fenomene de oxidare ale unor mineralizații de sulfuri sau a capetelor de strate de cărbuni) sau endotermice (fenomene de dizolvare a sării și altele).

Aparatura necesară este reprezentată de termocuple, termopile sau, mai nou, termometre cu punte electrică avînd ca element termosensibil unul sau mai mulți termistori, a căror precizie de determinare a temperaturilor este de $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Măsurătorile se execută în găuri de circa 2 m adîncime, realizate cu instalații ușoare de foraj mecanic sau manual și de preferință închise la partea superioară după coborîrea aparatului, pentru a se elimina influența temperaturii exterioare. Echilibrul termic, în aceste condiții, este realizat în circa 1 oră, însă durata unei măsurători pentru atingerea preciziei dorite este indicat să fie mai mare, și anume de 2—3 ore.

Măsurătorile se execută într-o rețea pătratică sau dreptunghiulară de puncte, cu distanța între ele de ordinul metrilor pînă la zeci de metri.

Pentru stabilirea anomaliilor geotermice este necesar ca valorilor brute de temperatură măsurate în găuri să li se aplice reduceri pentru eliminarea efectelor radiației

solare, a vegetației de la suprafață și a reliefului topografic. Rezultatele sînt consemnate în hărți cu curbe de egală valoare sau profile de variație a temperaturii, ambele reprezentînd forme de exprimare grafică a informației geofizice furnizată de această metodă.

2.2.7. TELEDETECTIA

Teledetectia reprezintă un complex de tehnici și tehnologii care urmăresc obținerea de la distanță a unor informații asupra Pămîntului, unor planete, spațiului aerian și a celui interplanetar. Fenomenele fizice pe care se bazează sînt reflexia, refracția și absorbția undelor electromagnetice, precum și emisii ale acestora de către anumite corpuri ca urmare a interacțiunii cu ele.

După cum este cunoscut, spectrul de frecvență, respectiv de lungimi de undă λ , al undelor electromagnetice este foarte mare și acesta se împarte în cîteva zone distincte și anume: radiația γ ($\lambda < 0,1 \text{ \AA}$); radiația X ($\lambda = 0,1 \text{ \AA} - 100 \text{ \AA}$); radiația ultravioletă ($\lambda = 100 \text{ \AA} - 4000 \text{ \AA}$); radiația luminoasă sau spectrul vizibil ($\lambda = 0,400 - 0,750 \text{ \mu m}$); radiația infraroșie ($\lambda = 0,750 - 100 \text{ \mu m}$); unde ultrascurte sau radar ($\lambda = 100 \text{ \mu m} - 140 \text{ cm}$); unde radio (λ de la 140 cm pînă la cîteva sute de km).

Ne vom opri atenția numai asupra aplicației teledetectiei la studierea Pămîntului. Sursa principală de energie a suprafeței Pămîntului o constituie energia radiată de către Soare. Suprafața terestră reflectă, absorbe și emite energie. Din energia primită de la Soare numai 22% este înapoiată ca radiație difuză de către scoarța terestră, restul fiind absorbit de atmosferă și spațiul cosmic. La aceasta se mai adaugă, în situații favorabile, energia termică ce provine din interiorul Pămîntului.

Această energie prezentă la suprafața terestră este înregistrată de la distanță cu echipamente adecvate, denumite *captori-sensori*. Captorii pot fi *fotografici* (camere fotografice normale, metrice sau dispozitive fotografice multispectrale), *radiometre* (în domeniul vizibil, infraroșu sau sisteme termovizion) și *spectrometre*. Sensorii pot fi *de baleiere* (optico-mecanică, în infraroșu, în ultraviolet și multispectrală), *de televiziune* (camere de televiziune sau sisteme de foto-televiziune) și *radar*. Se disting două tipuri de senzori: *pasivi*, atunci cînd aceștia înregistrează energia naturală provenită de la obiectul de studiu și *activi*, cînd se transmit impulsuri către obiect și se primește răspunsul acestuia, cum este în tehnicile radar și sonar.

Echipamentele de înregistrare sînt plasate pe platforme, la o distanță oarecare de suprafața Pămîntului. Aceste platforme pot fi aeriene (baloane, avioane, elicoptere, dirijabile, planoare) sau spațiale (circumterestre fără sau cu oameni la bord și extra-terestre, pînă în prezent fără oameni la bord).

În teledetectie se folosește atît fotografia convențională — în alb-negru și color — cît și cea neconvențională — spectrozonală, multispectrală, fals color și color compus; de asemenea, este utilizată preluarea nefotografică a imaginilor, prin înregistrarea radiațiilor în scopul realizării de imagini multispectrale, avînd la bază conversia energiei radiației electromagnetice în semnale electrice.

Datele înregistrate de la distanță sînt stocate sub formă de imagini fotografice sau pe benzi magnetice. Se disting *stocări analogice* — fie fotografii, fie benzi magnetice care prin prelucrare ulterioară se transformă în fotografii alb-negru, color convențional sau natural —, precum și *stocări digitale* care de asemenea se transformă în astfel de imagini fotografice sau în liste de valori.

Reiese, din cele de mai sus, că informația geofizică obținută prin teledetectie este reprezentată de fotografii sau liste de valori.

Interpretarea acestor informații se face fie cu ochiul liber, prin studiere directă sau cu instrumente optice în sistem stereoscopic ori monoscopic, fie pe bază de programe pe calculatorul electronic. În toate cazurile se folosesc modele de interpretare stabilite cu ajutorul unor zone-test de pe suprafața Pămîntului, avînd caracteristici cunoscute sau alese în mod deliberat.

În concluzie, se poate spune că teledetectia reprezintă un complex de activități constînd din înregistrarea de la distanță a radiației electromagnetice de către un sensor, transformarea acesteia în imagini fotografice sau în semnale electrice, transmiterea lor către memoria unui calculator electronic, prelucrarea, corectarea și transformarea tot cu ajutorul calculatorului în imagine vizuală, selecționată sau clasificată și interpretarea acesteia prin comparare cu eșantioane avînd caracteristici definite.

Aplicațiile teledetectiei în geologie sînt încă relativ restrînse. Pe lîngă fotointerpretarea aerofotogramelor care aduce elemente în sprijinul cartării geologice (diferențierea litologică a stratelor, stabilirea poziției lor, determinarea faliilor și fracturilor etc.), mai importante sînt următoarele:

- interpretarea înregistrărilor în infraroșul termic ($\lambda = 3 - 20 \text{ \mu m}$) care pune în evidență diferențele și variațiile de temperatură și umiditate la suprafața terestră sau din profunzime, reflectînd inerția termică a diferitelor tipuri de roci sau de acumulări de substanțe minerale utile;

- interpretarea imaginilor și mezaicurilor realizate prin folosirea radarului, care pun în evidență unele trăsături liniare ale structurii geologice, mai pronunțat marcate decît pe fotografia aeriană, legate de falii, fracturi sau forme plicative de cutare.

Principalele informații de teledetectie au fost obținute prin *programul Landsat* (sateliții ERTS-1 lansat în 1972, EROS în 1975 și Landsat 3 în 1978, cu orbite circumterestre la circa 900 km înălțime față de suprafața Pămîntului). Ca rezultate mai importante, pînă acum se pot menționa delimitarea unor zone hidrotermale cărora le sînt asociate depozite minerale în Nevada (S.U.A.), studierea și testarea caracteristicilor reflectate în teledetectie de zăcămintele de cupru din Pakistan care au fost apoi folosite pentru descoperirea de noi mineralizații și altele.

Teritoriul țării noastre, este acoperit în întregime, cu 25 de imagini obținute prin sateliții *Landsat* 1, 2 și 3, iar interpretarea geologică a acestora este în curs de realizare.

2.2.8. CERCETĂRI GEOFIZICE ÎN SUBTERAN

O categorie aparte de măsurători geofizice, care nu mai au caracter propriu-zis de prospecțiune și pe care am putea-o numi *geofizică de mină* (Botezatu, 1971), o reprezintă cercetările geofizice în subteran, respectiv în puțuri, galerii și orizonturi miniere, suitori și planuri înclinate. Scopul principal al acestor măsurători este de a obține informații suplimentare asupra dezvoltării spațiale a mineralizațiilor traversate de astfel de lucrări, precum și asupra existenței eventuale a unor alte acumulări minerale nepuse încă în evidență și situate în orice direcție a spațiului, în raport cu lucrările miniere existente, pînă la distanțe de investigație corespunzătoare performanțelor aparaturii și tehnicii de lucru existente la un moment dat.

Față de lucrările de prospecțiune, cele efectuate în subteran se lovesc de la început de o dificultate principială și anume: în prospecțiune, cîmpurile fizice măsurate sînt produse de obiecte geologice cu rol de surse de potențial situate în subsol, deci într-un semispațiu 2π , în timp ce în cazul cercetărilor în subteran măsurătorile se

efectuează chiar în interiorul, lateral sau dedesubtul surselor de potențial, așadar într-un spațiu întreg 4π . Această situație implică o serie de complicații de natură teoretică privind semnificația mărimilor fizice determinate, precum și necesitatea introducerii unor corecții și forme de reprezentare grafică specifice acestui gen de măsurători geofizice.

Aparatura folosită pentru cercetările geofizice în subteran este aceeași care se utilizează și în metodele de prospecțiune; tehnicile de lucru sînt însă modificate, adaptate condițiilor din subteran.

Măsurătorile geofizice cele mai larg folosite în subteran sînt cele radiometrice. De altfel, radiometria nu se limitează numai la faza de prospecțiune de la suprafață, ci însoțește continuu — servind ca un mijloc rapid de control — toate lucrările, începînd cu explorarea și apoi cu exploatarea, sortarea masei miniere utile și eliminarea sterilului și terminînd cu determinarea indirectă a conținutului producției miniere.

Măsurătorile magnetice practic sînt imposibil de efectuat în subteran din cauza prezenței masive a unor obiecte de fier (șine de cale ferată îngustă, vagoane, scule, conducte de aeraj, cabluri electrice și altele).

Cercetările gravimetrice nu au astfel de limitări, așa încît acestea se pot efectua cu relativ destul de mult succes, deși comportă calcule foarte laborioase îndeosebi pentru reducerea efectelor create de excavațiile miniere. Pe baza unor astfel de măsurători în puțuri și galerii la mai multe nivele, ca și în orizonturile miniere, se pot construi hărți gravimetrice de orizont și secțiuni gravimetrice verticale cu ajutorul cărora se pot obține indicații utile asupra delimitării în spațiu a corpurilor geologice care au produs anomaliile gravimetrice ce au fost cartate la suprafață.

Rezultatele cele mai valoroase se obțin prin măsurători electrometrice. Acestea pot fi făcute folosind metoda potențialului natural, urmărind corelarea anomaliilor din subteran cu cele determinate la suprafață, pentru stabilirea unor criterii de discriminare între anomaliile produse de mineralizații de interes economic și cele produse de diseminări neimportante sau de alte cauze neinteresante cum sînt rocile grafitoase sau unele tipuri de roci porfirogene, zone de caolinizare puternică și altele. De asemenea, metoda rezistivităților poate aduce în unele situații informații deosebit de interesante, ca de pildă folosind o variantă de concepție românească a sondajului electric de rezistivitate; aceasta este reprezentată de sondajul electric cu orientare de investigație dirijată pe direcții orizontale sau verticale față de axa galeriei și construirea de secțiuni geoelectrice care dau indicații asupra surselor de anomalii electrice situate lateral față de pereții galeriei, deasupra sau dedesubtul acestora. Folosind în afară de rezistivitatea aparentă și parametrii polarizației induse, spectrul informațional este sensibil îmbunătățit.

Metodele electromagnetice încorporează și o variantă specifică lucrărilor în subteran numită *metoda umbrei electromagnetice* sau *metoda transparenței*.

Această metodă se bazează pe proprietatea pe care o au mediile bune conductoare de electricitate de a avea un coeficient mare de absorbție a undelor electromagnetice de înaltă frecvență, respectiv cu frecvențe de ordinul de mărime al undelor radio. În aceste condiții, undele electromagnetice vor străbate relativ ușor rocile cu conductibilitate electrică mică, însă nu vor putea străbate aproape de loc corpurile de mineralizații metalifere care se găsesc eventual în astfel de roci, între două orizonturi miniere sau între cel superior și suprafață. Pentru localizarea acestor corpuri se folosesc cadre emițătoare și receptoare plasate succesiv la două nivele, prezența corpului conductor producînd un con de umbră în care semnalul transmis nu se manifestă în cadrul receptor. Prin inversarea plasării cadrelor emițătoare cu cele receptoare se obține un al doilea con de umbră, la intersecția celor două conuri, între cele două orizonturi

miniere putîndu-se localiza corpul cu mineralizație metaliferă la un grad de încredere ridicat.

Celelalte metode geofizice, ca cea seismometrică sau geotermică de pildă, nu au cunoscut decît încercări sporadice de aplicare, cu rezultate nu întotdeauna concludente.

Marile avantaje ale cercetărilor geofizice în subteran sînt pe de o parte că ele se efectuează la distanțe relativ mici față de acumulările de substanțe minerale utile, ceea ce se reflectă într-o intensitate mai ridicată a anomaliilor și o localizare mai precisă a cauzelor care le produc, și pe de altă parte, că rezultatele unor astfel de cercetări pot fi repede controlate prin foraje GP sau nișe, astfel încît pot servi la orientarea mai judicioasă a lucrărilor de explorare și de exploatare.

2.3. ÎNTERPRETAREA GEOLOGICĂ A INFORMAȚIILOR GEOFIZICE CONDIȚIONATE DE ACUMULĂRILE DE SUBSTANȚE MINERALE SOLIDE

În esență, interpretarea geologică a informației geofizice, respectiv — așa cum a fost definită — a suportului material al mesajelor fizice și geologice provenite din subsol, reprezintă transformarea acesteia într-un model al structurii geologice ascunse sau a acumulărilor de substanțe minerale utile pe care ea le conține. Practic este vorba de a determina localizarea în subsol, forma și dimensiunile, natura și tipul geologic-mineralogic și, în general, de a stabili o imagine cît mai completă asupra obiectului sau obiectelor geologice de prospectat, inaccesibile observației geologice directe, din niște informații geofizice, ca rezultat al unor măsurători de cîmpuri fizice efectuate și raportate la suprafața Pămîntului.

Din cauza acestei situații particulare în care geofizicianul își desfășoară activitatea sa, apare necesitatea ca el să opereze cu *modele geofizice*. De la început trebuie să ne fie clar că pentru a construi un model este necesar a simplifica. Se impune, de asemenea, ca aceste modele să fie flexibile, versatile, să aibă caracteristici care pot fi repede și ușor testate pe baza informațiilor geofizice, petrofizice și geologice de care dispunem. Dacă potrivirea nu este bună, atunci modelul trebuie modificat, uneori printr-un proces de aproximații succesive, pînă cînd va corespunde cel puțin în limite acceptabile. Un astfel de model geofizic va fi folositor numai atunci cînd va fi capabil să reproducă cele mai semnificative trăsături caracteristice ale informațiilor de la care s-a plecat la elaborarea și optimizarea lui.

Privit pe un plan foarte general, un model este pur și simplu un set ordonat de prezumții referitoare la un sistem complex. Prin selectarea, pe baza percepțiilor și a unei experiențe acumulate, a unui grup de observații generale aplicabil la o anumită problemă se face o încercare de înțelegere a informației de la care se pleacă. Un model geofizic reprezintă încorporarea teoriei și a informațiilor obținute experimental, furnizate de prospecțiunea geofizică. Din necesitate, el trebuie să reprezinte un compromis între simplitate și realitate. Niciodată nu va putea fi un model atotcuprinzător, deoarece realitatea geologică este întotdeauna foarte complexă și complicată. Rolul principal al modelului geofizic este de a explica semnificația geologică a informațiilor obținute pe cale indirectă. Ca orice model, în oricare din științele experimentale, el rămîne totuși imperfect, suprasimplificat și nefinisat, reprezentînd — în ultimă instanță — o copie incompletă, cu caracter simulativ, a realității geologice.

Modelele geofizice pot fi de două feluri și anume:

— calitative, atunci când se bazează pe corelații și speculații logice, deci operații pur mintale, transpuse apoi într-un text explicativ;

— cantitative, atunci când la cele de mai sus se adaugă determinări de formă, dimensiuni, adâncimi etc. pe baza unor calcule privind sursele de anomalii geofizice și de efecte ale acestora care se compară cu anomaliiile cartate până la obținerea unei concordanțe satisfăcătoare între ele.

Forma de prezentare a modelelor geofizice, conținând caracteristicile principale ale acestora, este întotdeauna grafică, adaptată și paralelizată formelor de reprezentare folosite în activitatea geologică, respectiv secțiuni, hărți structurale, bloc-diagrame, machete etc. Prin astfel de forme de reprezentare grafică modelul geofizic de simulare se încadrează în suita modelelor construite numai pe baza informațiilor geologice, contribuind la creșterea gradului de înțelegere și de cunoaștere a structurii geologice ascunse a subsolului.

În cele ce urmează vom prezenta câteva cazuri de interpretare geologică a informațiilor geofizice pentru principalele grupe de substanțe minerale utile solide care fac obiectul activității miniere.

2.3.1. MINERALIZAȚII DE METALE FERROASE

În această grupă sînt incluse în primul rînd mineralizațiile de fier și de mangan; tot din aceasta fac parte și cele de titan, crom, nichel, vanadiu, cobalt, molibden și altele. La detectarea unor astfel de mineralizații prin metodele geofizice pot fi folosite — după caz, în funcție de tipurile de componente minerali principali și secundari, de conținuturile acestora și de natura formei de zăcămint pe care o au — metodele magnetometrică, electrometrică, radiometrică sau gravimetrică.

În mod normal, mineralizațiile de siderit nu pot fi puse în evidență prin magnetometrie deoarece acest mineral are o valoare foarte redusă a susceptibilității lui magnetice, practic comparabilă cu cea a rocilor care le găzduiesc. În zona Ruschița din Masivul Poiana Ruscă, mineralizațiile de fier, sub formă de lentile stratiforme concordante cu șisturile cristaline în care se găsesc încorporate, sînt constituite din siderit cu o cantitate redusă de magnetit, la partea superioară sideritul trecînd în limonit, iar la cea inferioară în ankerit. Lentilele au dimensiuni mici și prezintă o dispersare mare în suprafață. În sectorul Pîrîul Nisipului — Ruschița, așa cum a arătat Bărbat (1958), datorită faptului că mineralizația de siderit conține puternice impregnații de magnetit și pirită, aceasta produce anomalii magnetice intense depășind, ca variație totală, 10 000 γ . În fig. X.40 este reprodus exemplul a două astfel de lentile de siderit.

Un caz foarte interesant de reflectare în informațiile geofizice a unor mineralizații de fier și mangan îl reprezintă acumulările reziduale din zona Moneasa-Vaşcău, Munții Apuseni. Acumulările se găsesc situate pe reliefurile carstice negative (doline, paleovăi) ale calcarelor și dolomitelor triasice umplute cu nisipuri, argile și tufuri vulcanice de vîrstă terțiară, peste care se găsește parțial o pătură de sol.

Mineralizația este constituită de un orizont inferior manganos (piroluzită, manganit fibros, hauerit etc.) și de unul superior — cu unul sau chiar două nivele — feruginos (limonit, hematit, argilă feruginoasă, oolite feruginoase etc.) și se prezintă sub formă de blocuri dispersate în masa argilelor, tufurilor și nisipurilor.

Cercetarea electrometrică (Bărbat, 1950), a conturat în bune condițiuni, prin minime ale rezistivității aparente ρ_a , forma și dimensiunile cuvetelor cu umplutură de depozite terțiare groase în care sînt șanse să existe acumulări de mineralizații. În fig. X.41 este reprodus un profil al variației ρ_a în paralel cu secțiunea geologică, din care se poate observa ușor corelația dintre informația electrometrică, relieful calcarelor și prezența mineralizațiilor de fier și de mangan. Informația magnetică, obținută ulterior (Bărbat, 1958), a localizat prin anomalii ΔZ dipolare cu intensitate totală de ordinul a 1000 γ sectoarele în care este prezentă mineralizația.

Acumulările de oxizi de fier și, îndeosebi cele de magnetit, sînt întotdeauna prospectabile geofizic pe cale magnetică.

Un exemplu concludent în acest sens îl reprezintă cazul lentilelor de magnetit din zona Băișoara—Mașca, Munții Apuseni, genetic legate de produsele magmatismului banatic. Aceste produse, sub formă de corpuri intrusive granodioritice din care se desprind, datorită diferențierilor magmatice, dyke-uri și silluri de andezite și dacite, au transformat rocile de la contactul cristalin/sedimentar. Urmare acestor transformări au luat naștere corneene impregnate cu pirită, blendă, galenă, calcopirită și pirotină, precum și skarne cu magnetit și pirotină. De importanță economică, cel puțin deocamdată, sînt în primul rînd lentilele pirometasomatice de magnetit localizate

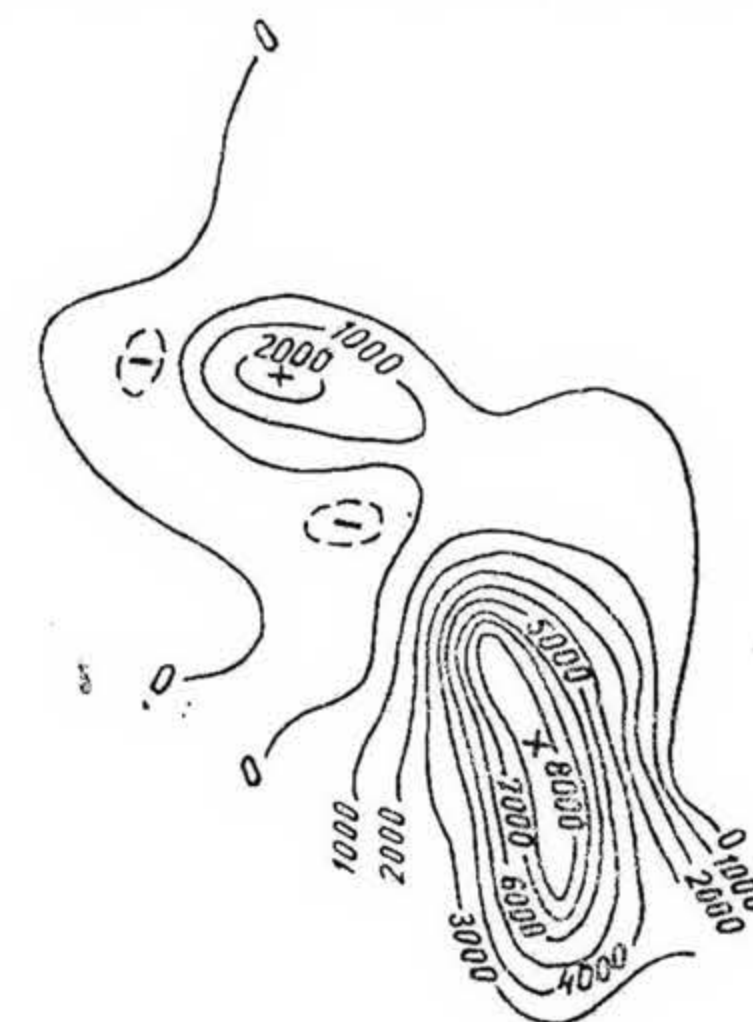


Fig. X.40. Imaginea anomaliilor magnetice ΔZ în zona Pîrîului Nisipului — Ruschița (după T. Bărbat, 1958).

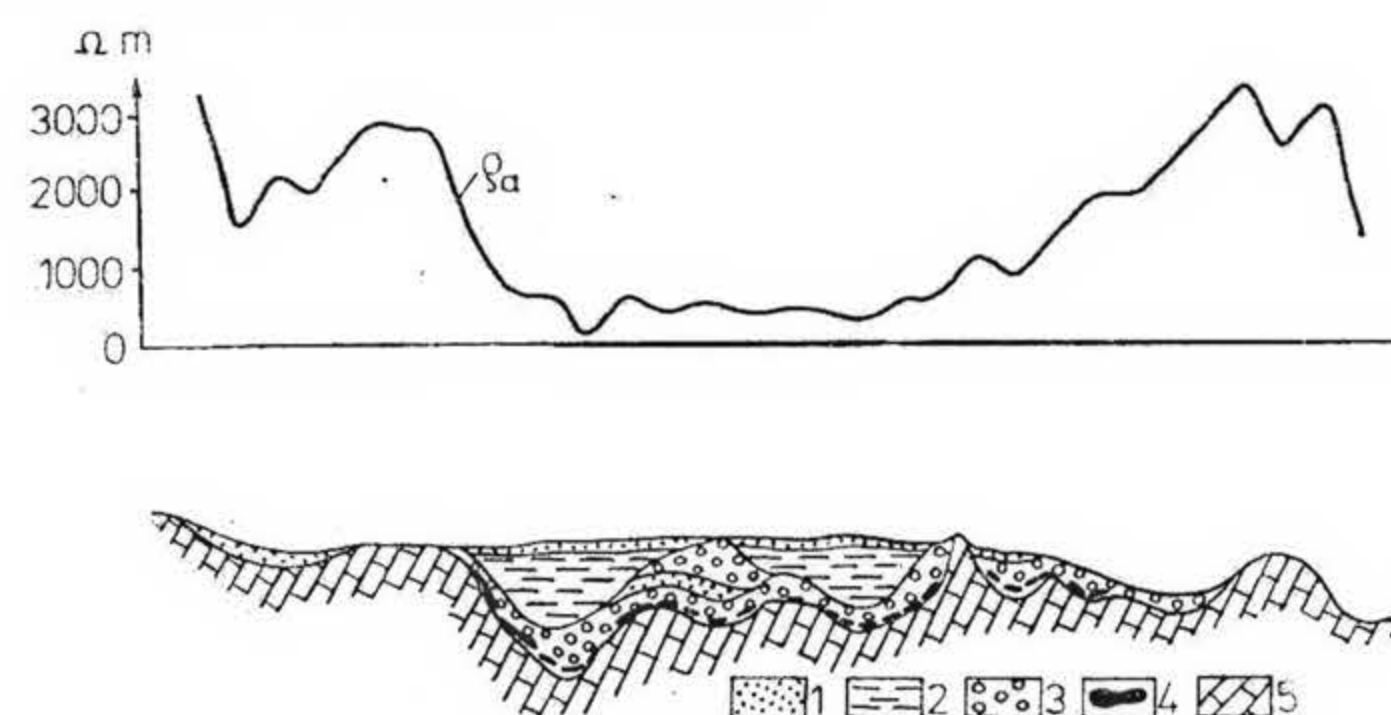


Fig. X.41. — Secțiune longitudinală prin zăcămintul rezidual de fier și mangan de la Corbu, zona Moneasa-Vaşcău, în paralel cu variația rezistivității aparente ρ_a :

1 — sol; 2 — argilă caolinoasă; 3 — minereu de fier; 4 — minereu de mangan; 5 — calcar (după T. Bărbat, 1950).

în skarne. După cum a fost arătat (Romanescu, 1964), deoarece susceptibilitatea magnetică a banatitelor din această zonă are o valoare foarte scăzută și practic comparabilă cu cea a rocilor cristaline și a celor din cuvertura sedimentară, singura sursă de anomalii magnetice o reprezintă lentilele de magnetit în contrast de sute până la zeci de mii de unități de susceptibilitate. Acestea, în funcție de mărimea și adâncimea

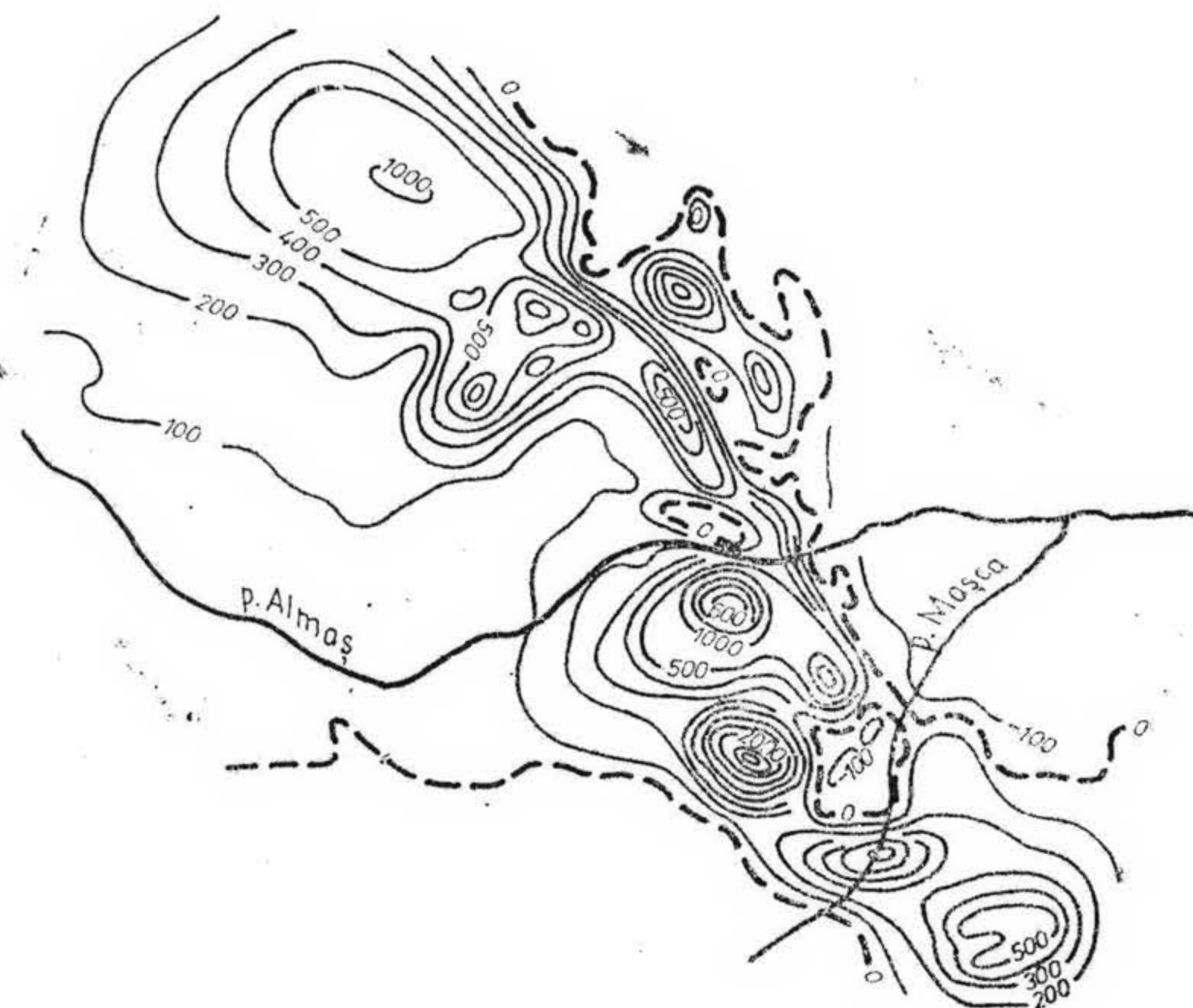


Fig. X.42. Imaginea anomaliilor magnetice din zona centrală a zăcămintului de fier Băișoara-Mașca (după D. Romanescu, 1964).

lor, au generat anomalii magnetice cu intensități de câteva mii de γ care au servit ca bază pentru proiectarea explorării și apoi deschiderea exploatării miniere din această zonă. În fig. X.42 este reprodusă imaginea anomaliilor magnetice din partea centrală a acestui zăcămint de fier.

Forma foarte neregulată a acestor lentile pune probleme grele explorării și exploatării lor. O încercare de îmbunătățire a eficienței acestor activități a fost făcută prin cercetările gravimetrice efectuate în subteran de către Rusu și Sava (1977). Acestea au constatat din determinarea unei secțiuni gravimetrice verticale prin Puțul 2). Băișoara și cele cinci galerii transversale de la orizonturile 80, 120, 160, 200 și 240, la care se adaugă profilul de la suprafață. Informația gravimetrică în această zonă a fost avantajată de faptul că contrastul de densitate dintre lentilele de mineralizații și rocile netransformate prin procese de metasomatism de contact este foarte mare, atingând valoarea de $2,00 \text{ g/cm}^3$. În fig. X.43 este reprodus rezultatul acestor cercetări,

din care reiese că mineralizația prezentă între orizonturile 80 și 200 are o extindere mai mare atît pe verticală față de cea cunoscută din lucrările miniere, cît și lateral pe direcția perpendiculară, în ambele sensuri, față de planul secțiunii.

Rezultate concludente a adus informația magnetică și pentru mineralizațiile de fier de la Palazul Mare, Dobrogea, de la Poiana Iazuri din Masivul Poiana Ruscă, pentru cele de magnetită titaniferă și vanadiferă de la Ciungani-Căzănești din Apusenii de sud și altele.

Cercetările geofizice efectuate în Delta Dunării și în zona acvatorială de pe platforma continentală din fața acesteia au scos în evidență capacitatea radiometriei de a pune în evidență acumulările de minerale grele din nisipurile aluvionare, interesante economic pentru conținutul lor în titan și zircon. În fig. X.44 este reprodusă imaginea anomaliilor radiometrice din zona grindului Sărăturile, situat la nord de localitatea Sf. Gheorghe-Deltă, generată de o astfel de zonă de concentrare, care este dublată de o a doua zonă de maxim radiometric paralelă și situată la distanța de circa 1,5 km

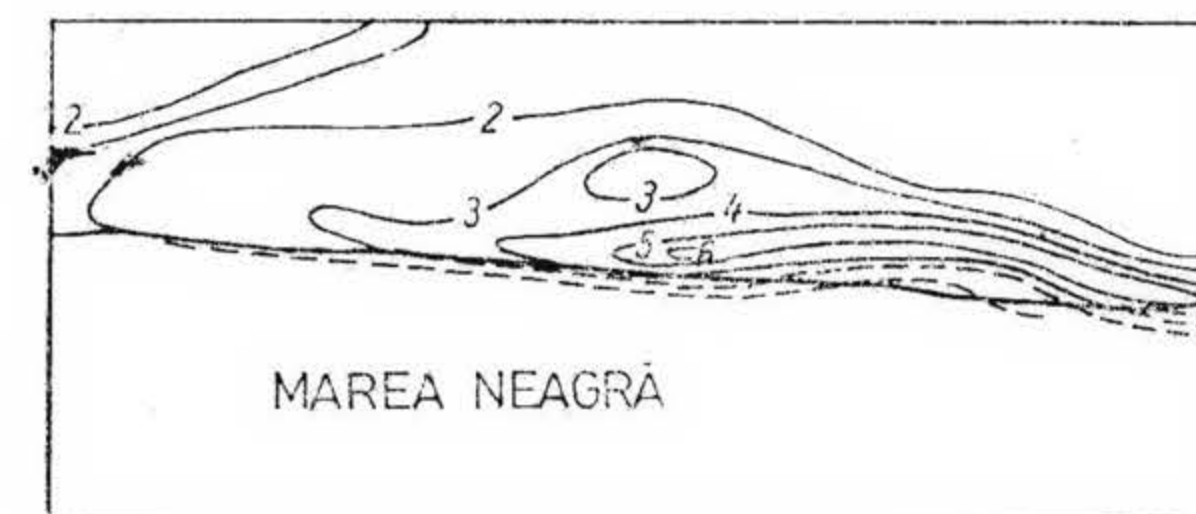
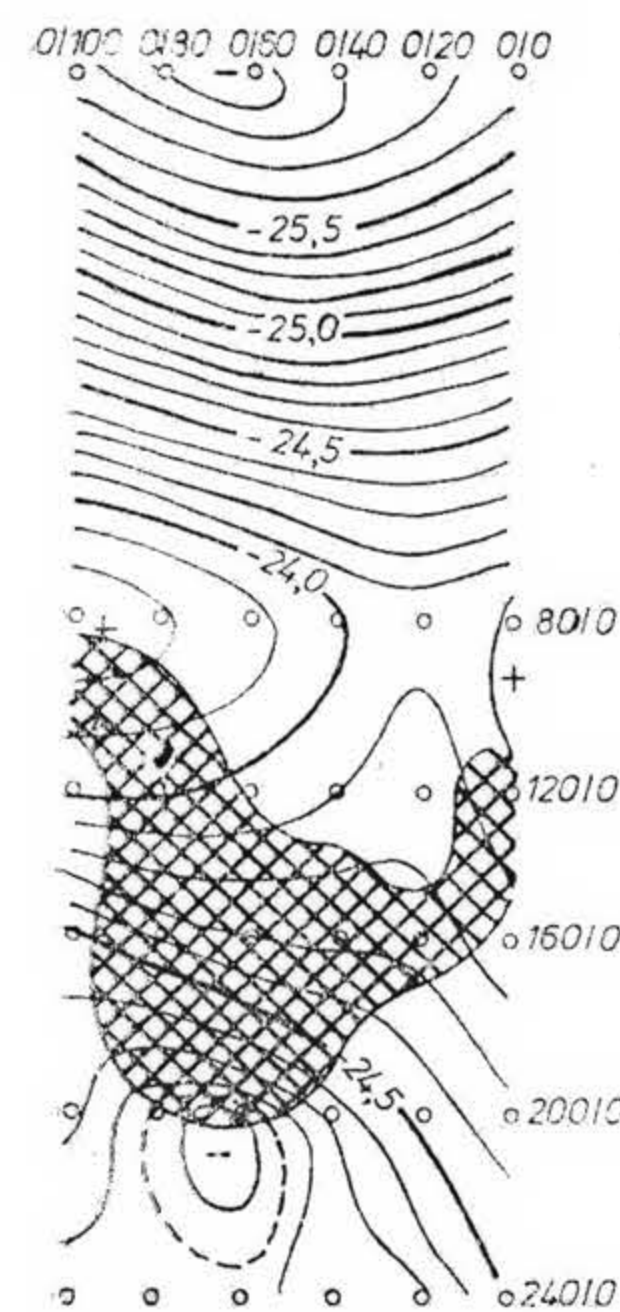


Fig. X.44. Imaginea anomaliilor radiometrice produsă de acumularea de minerale grele din grindul Sărăturile (după E. Brătășanu et al., 1972).

Fig. X.43. — Secțiune gravimetrică verticală prin Puțul 2 Băișoara și extinderea probabilă a mineralizației de fier în planul secțiunii (după D. V. Rusu și C. S. Sava, 1977).

în Marca Neagră (Brătășanu et al., 1972). Cauza acestor anomalii este prezența în asociația de minerale grele a monazitului și zirconului, care împreună produc circa 75% din intensitatea radiației γ globale, restul fiind cauzat de celelalte minerale (ilemnit, magnetit, granați și altele); mai mult decît atît, s-a putut demonstra că există o dependență practic liniară între concentrațiile în titan și zircon și intensitățile cîmpului radiației γ globale (Gohn et al., 1972), ceea ce asigură o bază de evaluare în primă aproximație a importanței economice a acumulărilor după intensitatea anomaliilor radiometrice.

2.3.2. MINERALIZAȚII DE METALE NEFEROASE

În această grupă sînt cuprinse mineralizațiile de cupru, plumb, zinc, staniu și aluminiu, pentru a nu cita decît metalele mai importante, care pot fi prospectate cu ajutorul metodelor geofizice. Poate mai mult decît pentru orice alte feluri de minera-

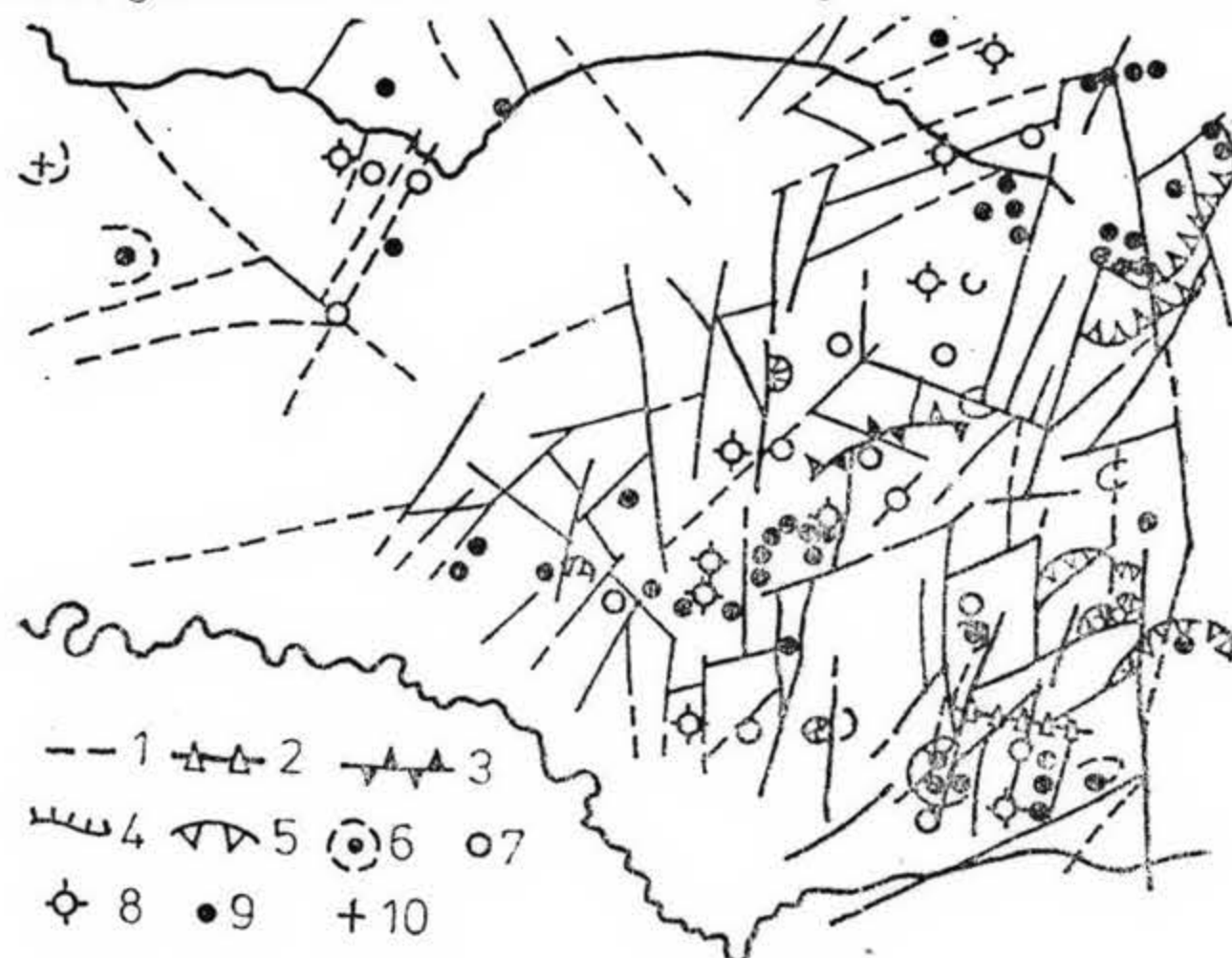


Fig. X.45. Modelul structurii geologice a Munților Gutii construit pe baza unei înregistrări multispectrale Landsat:

1 - accidente tectonice verticale; 2 - aliniamente de centre de erupție; 3 - aliniamente de curgeri divergente; 4 - fracturi de pinze de lave; 5 - limite de crater, calde; 6 - cripto-vulcani probabili; 7 - structuri vulcanice; 8 - aparate vulcanice; 9 - centre de erupție; 10 - centre de erupție probabile (după H. Zegheru și M. Albotă, 1979).

lizații, cele din grupa metalelor neferoase — și, înecesebi, cele de afiliație magmatică și de tip hidrotermal — impun o prealabilă descifrare a structurii geologice pe cale geofizică, pentru a evalua șansele de existență a acestora. În acest sens, magnetometria și gravimetria au adus contribuții deosebit de importante în țara noastră, în toate regiunile constituite din vulcanite neogene (Botezatu et al., 1974; Botezatu, 1976); de curînd, la acestea s-a adăugat și teledetecția. În fig. X.45 este reprodus, după Zegheru și Albotă (1979), rezultatul unei interpretări geologice a informațiilor de teledetecție pentru zona vulcanitelor neogene din partea vestică a Munților Gutii, din care reiese natura informațiilor geologice obținute pe această cale.

Prospectarea geofizică a mineralizațiilor din grupa metalelor neferoase se realizează, în majoritatea cazurilor, prin diferite procedee electrometrice. Aplicarea gravimetriei, magnetometriei, seismometriei sau radiometriei este limitată, fiind posibilă numai la acele mineralizații care, fie ocupă volume importante în subsol, fie — prin geneza lor — cuprind și minerale care au proprietăți magnetice sau radioactive, ori se găsesc în situații specifice particular de favorabile.

Prospecțiunile geoelectrice prin metoda potențialului natural efectuate în bazinele Văii Vaser, între Novicior și Novăț, au pus în evidență o serie de anomalii de

minim a acestei mărimi, plasate pe formațiunile cristalofiliene epimetamorfice dintre eruptivul nou și formațiunile sedimentare de vîrstă eocenă din vest, care au fost interpretate ca efecte ale mineralizațiilor de sulfuri complexe (Mihail, 1976). Această interpretare a fost confirmată inițial prin lucrări miniere de suprafață și apoi prin lucrări subterane. Au fost astfel puse în evidență lentile de pirită și calcopirită, cu galenă și blendă, cu caracter masiv, avînd grosimi de pînă la 10 m și cu zone de impregnație adiacente, așa încît întreaga mineralizație, atinge grosimea de cca 40 m. Informația electrometrică a reușit, în această zonă, să pună în evidență continuitatea mineralizației de interes economic din Valea Bradului, către sud, pînă în Valea Novăț și să precizeze decroșările compartimentelor purtătoare de mineralizație.

În fig. X.46 este reprodusă imaginea anomaliilor din lungul Pîrului Bradului, afluent al Văii Novicior, din care reiese că mineralizația de sulfuri complexe în acest caz produce efecte intense de potențial natural, care depășesc -280 mV.

O situație destul de complicată o prezintă mineralizația de pirită cupriferă de la Altîn-Tepe, Dobrogea. Zăcămintul de la Altîn-Tepe face obiectul exploatării de multe decenii, iar primele prospecțiuni geofizice în vederea descoperirii de mineralizații în extinderea lui datează din anul 1926; practic însă, clarificarea perspectivelor în acest sens aparține ultimului deceniu, cînd gradul de rezoluție mai ridicat al aparatului și tehnicilor de lucru recente au permis aceasta.

Mineralizația de metale neferoase exploatată la Altîn-Tepe se prezintă sub formă de corpuri lenticulare și zone de impregnație, fiind găzduită de formațiunile cristaline mezometamorfice reprezentînd fundamentul regiunii care este acoperit transgresiv de șisturi verzi. Corpurile de minereu sînt concordante cu șistozitatea formațiunilor metamorfice și prezintă grosimi de ordinul metrilor pînă la zeci de metri, fiind înconjurată la periferia lor de zone de impregnație. Originea mineralizației este considerată mixtă, îmbogățirea în cupru fiind a unei mineralizații sedimentogene afectată de o activitate hidrotermală ulterioară, datorită soluțiilor hidrotermale care au circulat pe contactul dintre formațiunile mezometamorfice și șisturile verzi.

Prospecțiunile electrometrice efectuate prin metoda polarizației induse (Mihail și Simionescu, 1972) au pus în evidență, pe direcția nord-vest-sud-est, prin zăcămintul cunoscut și în extinderea lui spre nord-vest și spre sud-est, un aliniament de minime ale rezistivității aparente ρ_a , așa cum se poate vedea în fig. X.47. Zonele conductoare — cu șanse de existență a mineralizației — se prezintă ca minime cu valori de $600-800 \Omega m$, față de un nivel de fond al rezistivităților produs de rocile sterile care are valori de $1000-2000 \Omega m$. Cu unele decalaje, minimele rezistivimetrice sînt dublate de anomalii ale polarizabilității aparente η_a , cu caracter de maxim, avînd intensități de $7-8\%$ față de un fond de $1-2\%$. Imaginea informației obținută prin polarizația indusă este

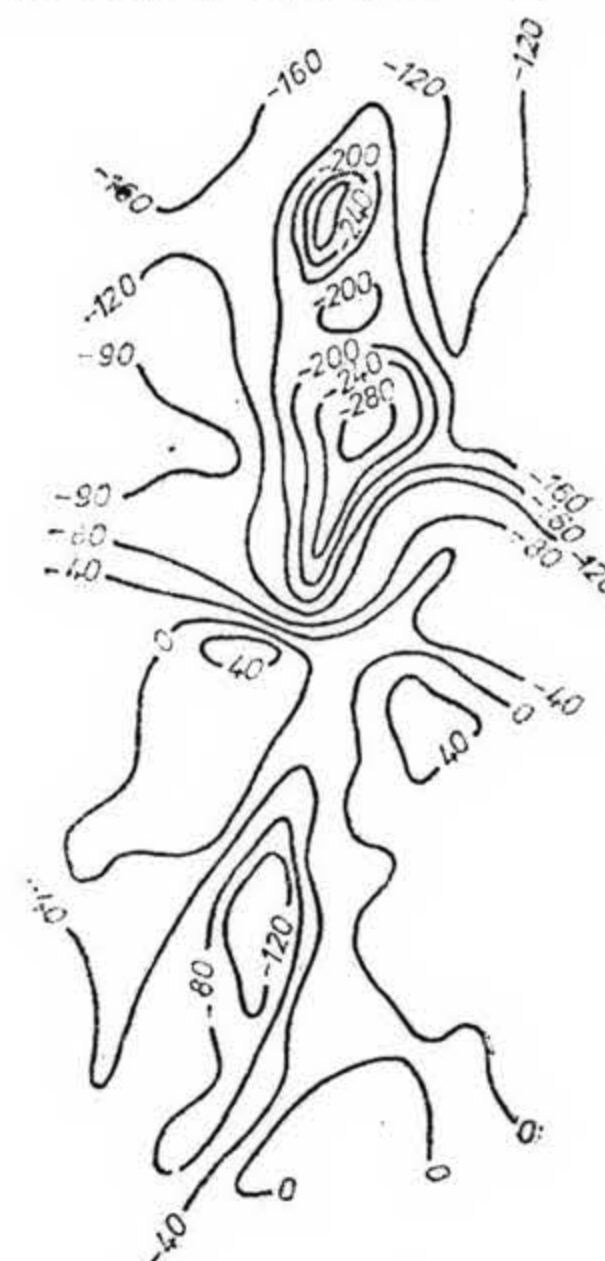


Fig. X.46. Anomalia potențialului natural în zona Novicior (P. Bradului) din Carpații Orientali (detaliu după Cr. Mihail, 1976).

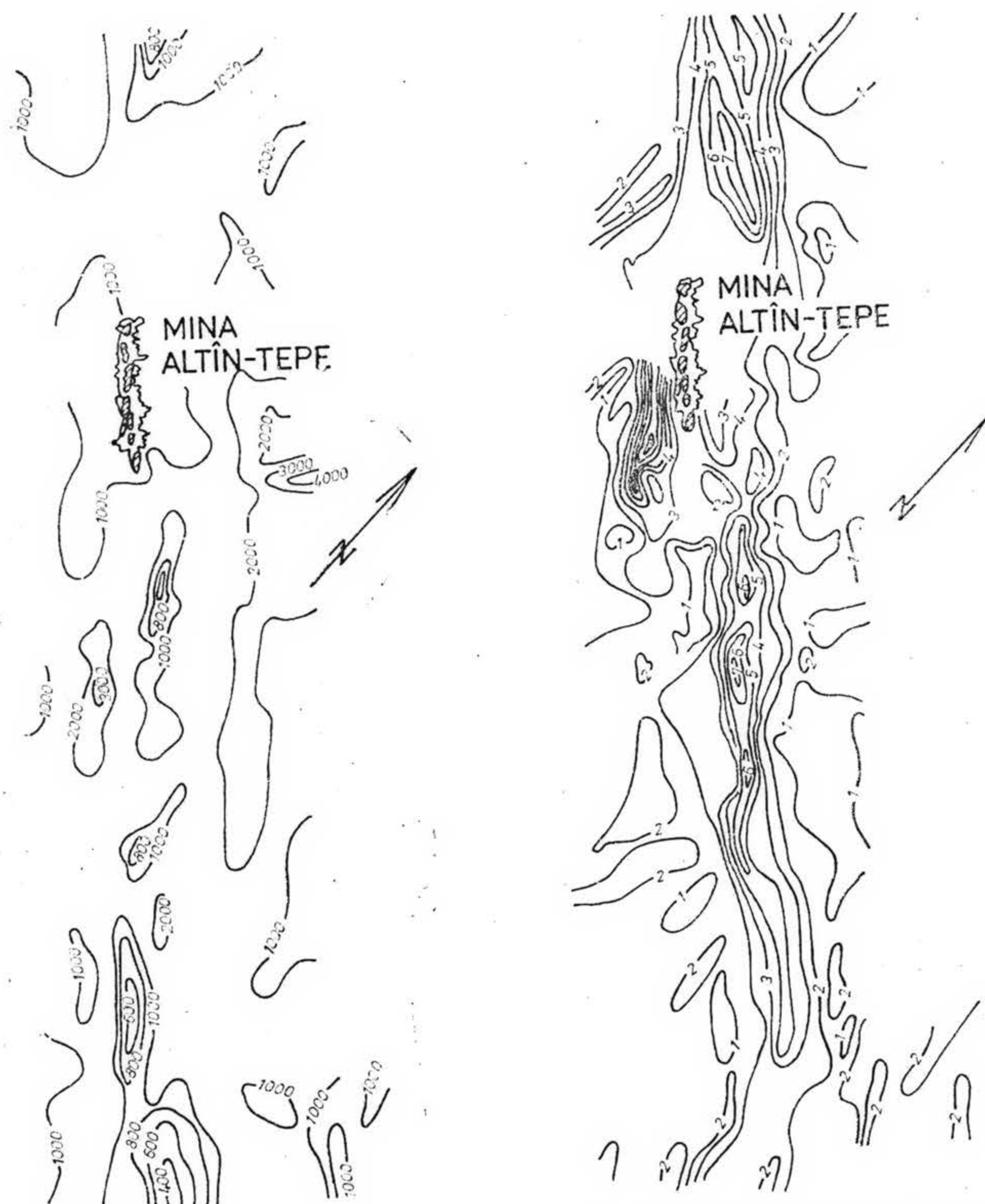


Fig. X.47. Imaginea anomaliilor rezistivității aparente ρ_a în zona Altin-Tepe (după Cr. Mihail și M. Simionescu, 1972).

Fig. X.48. Imaginea anomaliilor polarizabilității aparente η_a în zona Altin-Tepe (după Cr. Mihail și M. Simionescu, 1972).

reprodusă în fig. X.48. Corelația minim ρ_a — maxim η_a pledează pentru existența unor mineralizații disperse de sulfuri complexe care pot evolua spre lentile de minereu compact, ceea ce a fost confirmat de o serie de foraje executate în apex-ul principalelor anomalii electrometrice.

Un caz, de asemenea interesant, în care informația geofizică a adus o contribuție notabilă la orientarea lucrărilor de explorare, îl prezintă acela al mineralizației de

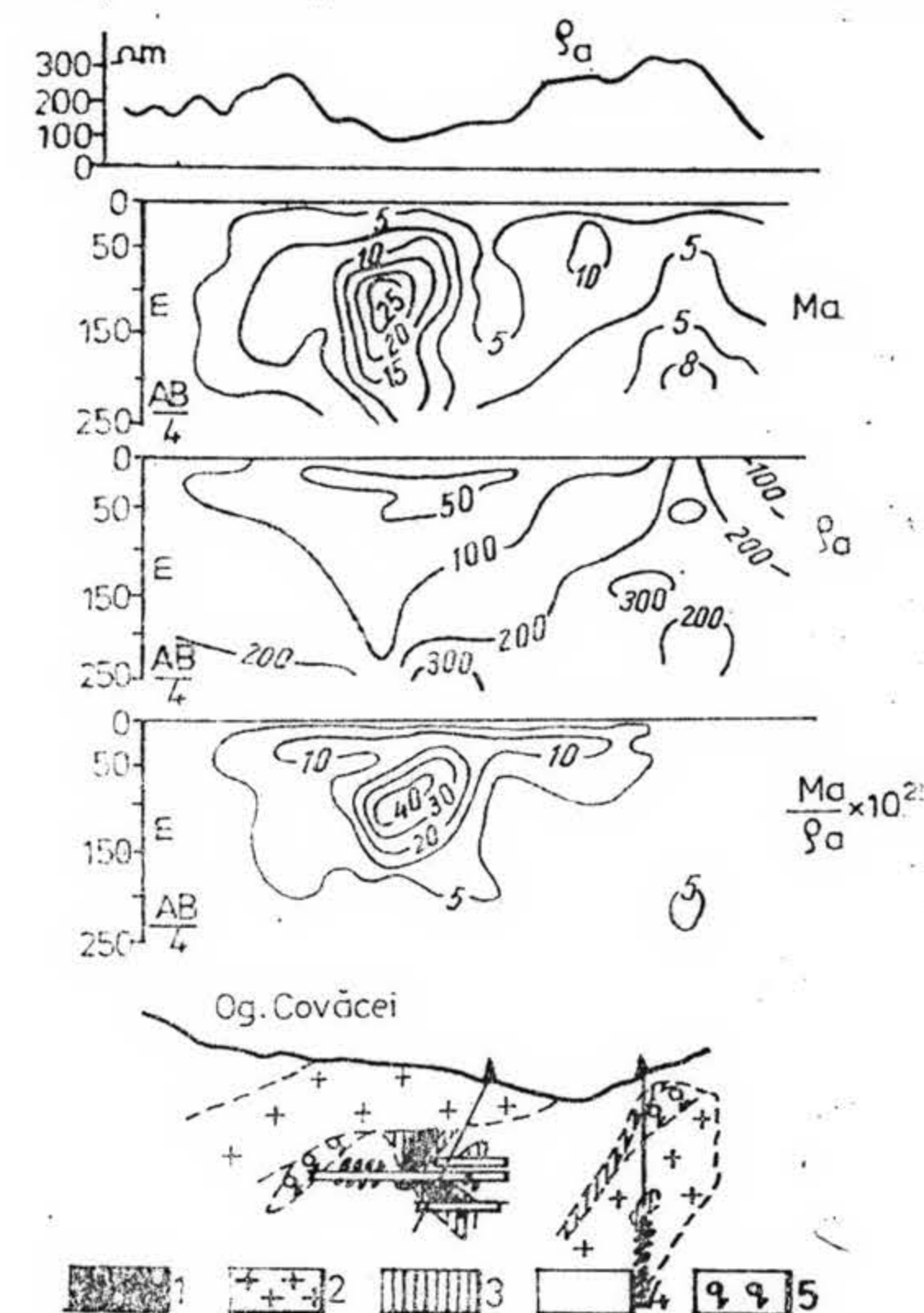


Fig. X.49. Informații geoelectrice și secțiunea geologică în sectorul Florimunda :

1 — mineralizație ; 2 — granodiorit ; 3 — skarn ; 4 — calcare recristalizate ; 5 — roci cuarțifere (după V. Văjdea și I. Stoica' 1968 — preluat de la R. Botezatu et al., 1976).

pirită și calcopirită din zona Sasca—Moldova Nouă din Banat. Aceste mineralizații sînt legate genetic de corpurile de granodiorite banatitice puse în loc în lungul liniei de încălecare a cristalinului de Locva peste umplutura sedimentară, mezozoică, a sinclinalului Reșița-Moldova Veche. Acumulările cele mai importante de sulfuri cuprifere sînt cantonate în skarnele de la contactul dintre banatite și rocile carbonatice mezozoice și apar sub formă de impregnații sau mineralizații masive, îmbrăcînd caracterul unor corpuri cu aspect neregulat; mineralizații disperse — unele de interes economic — se găsesc și în masa banatitelor și a calcarelor cristaline din vecinătatea corpurilor de magmatite. Astfel de zone mineralizate sînt cunoscute acum la Florimunda, Suvarov, Vărad, Valea Mare, Ogașul Băieșilor, Cărbunari, Stînăpari și altele.

Pentru exemplificarea naturii și conținutului geologic al informației electrometrice în cazul acestui tip de mineralizații, în fig. X.49 sînt prezentate rezultatele obținute

nute în sectorul Florimunda. După cum se poate remarca, principalul corp de minereu situat în skarnele din culcușul corpului banatitic de la vest, constituit din mineralizație cu caracter masiv, produce la suprafață un minim al rezistivității aparente ρ_a de circa 70 Ωm , față de o valoare de fond de ordinul a 250 Ωm . Secțiunile geoelectrice — construite pe baza sondajelor electrice verticale de polarizație indusă în domeniul timp — localizează în adâncime cu o precizie remarcabilă, prin raportarea valorilor parametrilor la $AB/4$, corpul de minereu. Acesta se reflectă în secțiunea geoelectrică prin maxime ale factorului de încărcare M_a și al raportului M_a/ρ_a (echivalent factorului metalic din domeniul frecvență) și printr-un minim al rezistivității aparente ρ_a . Anomalii de același sens, dar cu intensități mult mai reduse, marchează intervalele de mineralizație diseminată interceptate în forajul care traversează cel de-al doilea corp de banatit, situat la est de primul, de un interes economic secundar (Botezatu et al., 1976).

În ultimele două decenii, nevoile de metale neferoase ale omeniilor au crescut cu un ritm foarte alert, ceea ce a făcut ca interesul să se deplaseze către zăcămintele cu conținut scăzut în metal. Acestea reprezintă de fapt roci comune având în masa lor o cantitate de ordinul 0,2—0,5% de minerale de metale neferoase, disperse, dar care exploatabile în carieră — în condiții de tehnică minieră foarte avansată și cu excavarea unei mase miniere de ordinul a câteva zeci de milioane de tone anual — permit extracția unor cantități mari de metal la parametri tehnico-economici avantajoși. Un astfel de zăcămint în țara noastră îl reprezintă cel de la Roșia Poieni din Apusenii de sud. Zăcămintul este reprezentat de un corp subvulcanic constituit din andezit porfiritic de tip Barza, silicificat, slab argilizat și mineralizat îndeosebi cu pirită, calcopirită și oxizi de fier. Prospectarea geofizică a acestui corp în vederea conturării lui și a delimitării zonelor de îmbogățire a mineralizației a demonstrat că în acest caz informația magnetică este mai eficientă decât cea electrometrică, datorită caracterului precumpănitor hidrotermal al mineralizației și asocierii calcopiritei cu magnetitul de aceeași generație (Botezatu, 1977).

Prospectarea geofizică a zăcămintelor de bauxită din țara noastră, având în vedere caracterul lor de acumulări reziduale în reliefurile negative ale unui fundament de calcare precretacice carstificate, pune acesteia probleme dificile și de natură diferită.

În Munții Pădurea Craiului (sectoarele Cornetu, Lunca Sprie, Zece Hotare etc.) acumulările au forma unor lentile mici și sînt acoperite fie de o pătură subțire de sol și argile bauxitifere, fie de o pătură mai groasă de calcare neocomiene care poate depăși 100 m grosime. Cînd cuvertura superficială este mai subțire, prospectarea acestora este posibilă pe baza informației magnetice, electrometrice și radiometrice, în unele cazuri chiar și a celei gravimetrice (Gavăț et al., 1973). Dacă însă cuvertura se îngroașă mult, atingînd grosimi de mulți metri sau chiar câteva zeci de metri și este constituită din calcare neocomiene (care nu se diferențiază prin nici o proprietate fizică față de cele tithonice), atunci singura informație geofizică valabilă pentru detectarea acestora rămîne cea electrometrică prin metoda polarizației induse. Polarizabilitatea acumulărilor de bauxită este datorată efectului de membrană, ca urmare a unui conținut în argilă destul de ridicat, așa cum a fost arătat de Tournier și Văjdea (1969). În fig. X.50 este reprodus după acești autori un exemplu din sectorul Cornetu.

În zona Ohaba Ponor din Munții Hațegului (sectoarele Murgoi, Fizești etc.) lentilele de bauxită silicioasă și de argilă bauxitiferă sînt situate în paleoreliefurile unor calcare urgoniene. Diferența dintre acestea și cele din Pădurea Craiului provine pe de o parte de la dimensiunile lor care sînt în general mult mai mari și, pe de altă parte, de la cuvertura de vîrstă aptian-cenomaniană reprezentată în general prin gresii și subordonat argile. Această situație geologică a impus ca cea mai eficientă metodă de

prospectare geofizică să fie în acest caz seismometria de refracție folosind unde elastice de înaltă frecvență. Studiul condițiilor seismologice, privind caracteristicile dinamice, coeficienții de absorbție și viteza undelor elastice a arătat diferențieri ale undelor frontale care alunecă pe suprafața gresiiilor brune cenomaniene, a bauxitei și a fundamentului de calcare urgoniene (Spănoche et al., 1972), ceea ce a permis separarea lor cu destul de mare ușurință. În fig. X.51 este reprodusă imaginea suprafeței calcarelor

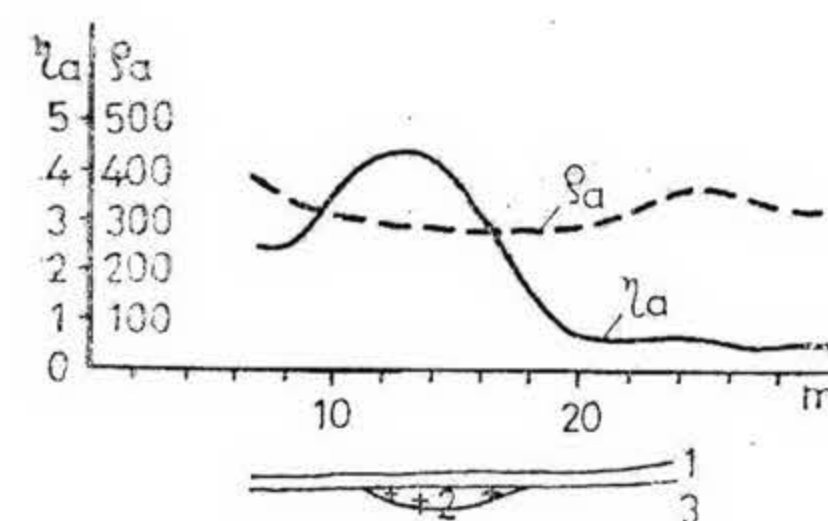


Fig. X.50. Informații geoelectrice deasupra unei lentile de bauxită din sectorul Cornetu:

1 — calcare neocomiene; 2 — bauxită; 3 — calcare tithonice (după D. Tournier și V. Văjdea, 1969).

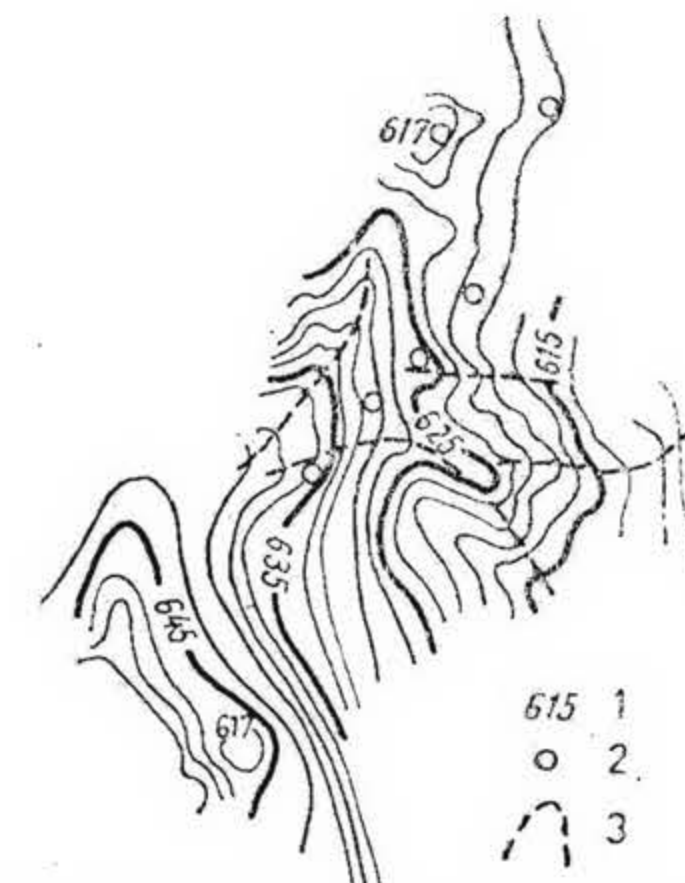


Fig. X.51. Modelul structural a suprafeței calcarelor tithonice obținut prin seismometria de refracție, într-un sector din zona Ohaba-Ponor:

1 — izobată (în valoare absolută); 2 — locație de foraj; 3 — limită de zonă depresionară favorabilă acumulării bauxitei (după S. Spănoche, 1973 — preluat de la I. Vasiliu și A. Solomon, 1975).

urgoniene, care se diferențiază prin viteză de propagare a undelor elastice de 4 000—5 000 m/s față de 2 200—2 500 m/s a cuverturii de gresii și argile, din care reiese existența unor zone depresionare, probabil paleovăi, în care, ulterior, lucrările de explorare au pus în evidență prezența unor lentile de bauxită de 2—5 m grosime (Vasiliu și Solomon, 1975).

Cercetările geofizice în subteran sînt, de asemenea, de un deosebit interes pentru creșterea eficienței lucrărilor de explorare și exploatare a zăcămintelor de metale neferoase. Pentru exemplificare s-a ales cazul mineralizațiilor de la Băița-molibden din Munții Bihorului. Metoda folosită a fost electrometria pe baza polarizației induse. Mineralizațiile de sulfuri complexe legate de skarnificarea calcarelor ca urmare a punerii în loc a magmatitelor granodioritice, exploatate aproape integral în zonele de suprafață, nu se manifestă în prospectiunea electrometrică așa cum se poate remarca pe curba factorului de încărcare M înscrisă în partea de sus a fig. X.52. În schimb, măsurătorile efectuate la orizonturile VI și X au pus în evidență anomalii intense și bine conturate ale acestui parametru, produse atât de corpurile de minereu cunoscute

(Sturzu, Antoniu, Baia Roșie, Maria), cât și de altele eventuale situate sub orizontul X. Verificarea acestor anomalii prin foraje GP și executarea galeriei de la orizontul XIII a condus la identificarea unor alte mineralizații, precum și la modificarea întregii ima-

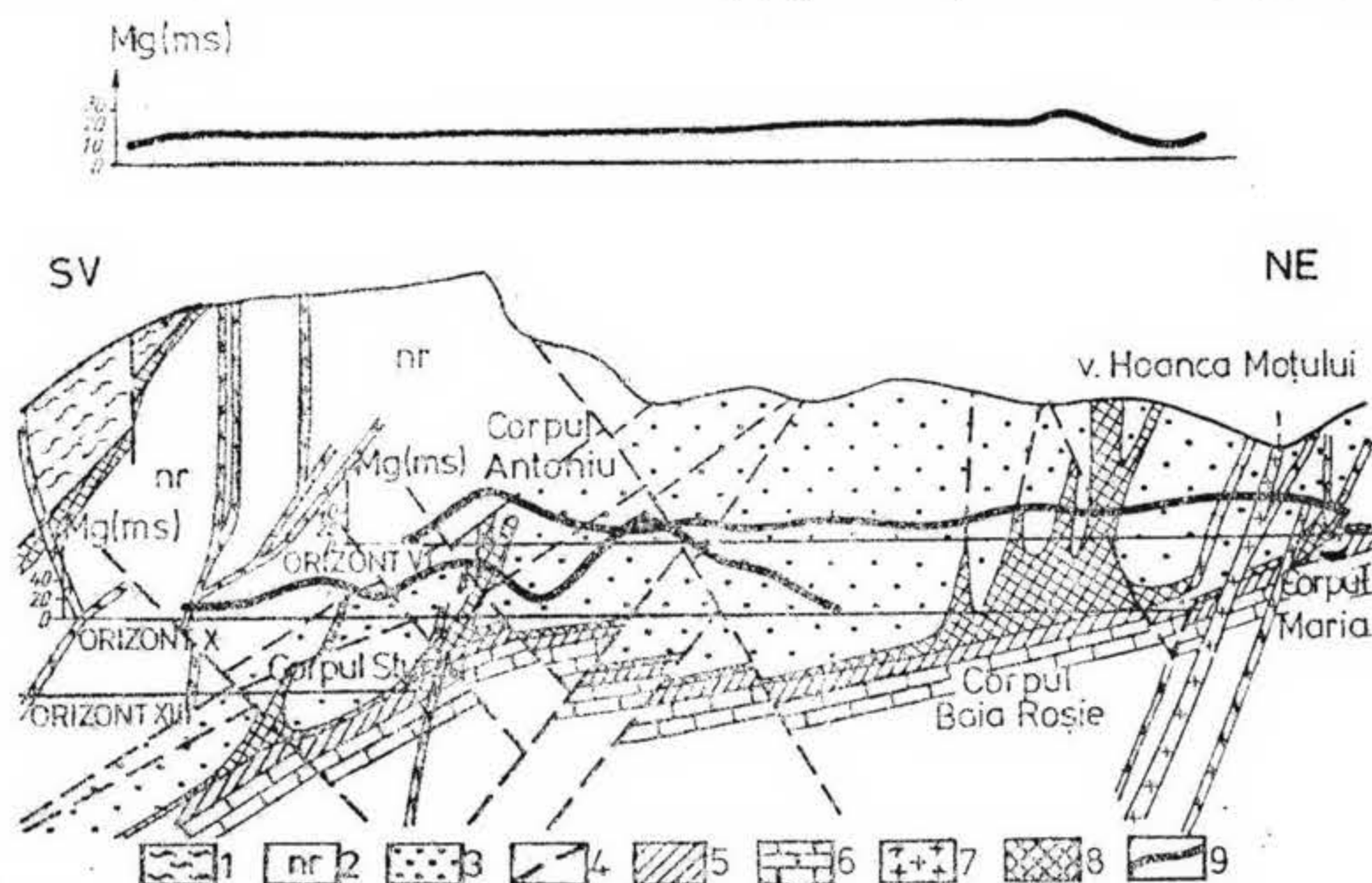


Fig. X.52. Informația electrometrică la suprafață și în două orizonturi din Mina Băița-molibden (după V. Vâjdea și A. Apostol, 1972 — preluat de la R. Botezatu et al., 1976):

1 — Permian (argilite, filite, cuarțite, gresii parțial skarnificate și cornificate); 2 — Norian (calcare recristalizate masive și intercalații detritice parțial cornificate și skarnificate); 3 — Carnian (dolomite cenușii și rozacee recristalizate); 4 — falie; 5 — Carnian (intercalații detritice parțialcornificate și skarnificate); 6 — Baramian (calcare albe, marne); 7 — dykuri diabaz-porfiritice; 8 — skarne mineralizate cu sulfuri polimetalice.

gini structurale, așa cum este prezentată în secțiunea geologică din partea inferioară a aceleiași figuri (Botezatu et al., 1976).

2.3.3. MINERALIZAȚII AURO-ARGENTIFERE

Mineralizațiile auro-argentifere din țara noastră sînt de afiliație magmatică, legate de procesele de autometamorfism hidrotermal ale produselor vulcanismului neogen și sînt localizate în aceleași tipuri de structuri ca și cele de metale neferoase; mai mult decît atît, mineralizațiile polimetalice neferoase prezintă adeseori conținuturi reduse — de sub 1 g Au/t și cîteva g Ag/t — care nu se recuperează direct ci în procesele metalurgice de rafinare pentru Cu, Zn sau Pb.

Un alt element care condiționează aplicabilitatea metodelor geofizice este conținutul redus al acestor elemente în mineralizațiile exploatabile din punct de vedere economic, care sînt de cîteva g Au/t și cîteva zeci de g Ag/t, fapt care nu este de natură să realizeze contraste de proprietăți fizice mari în valoare în raport cu rocile care le găzduiesc.

Datorită acestor situații specifice, prospectarea geofizică a mineralizațiilor auro-argentifere se face în mod asemănător ca pentru cele de metale neferoase, în care rolul precumpănitor îl au procedeele metodei electrometrice și numai cu totul subordonat cele geomagnetice, gravimetrice sau radiometrice, acestea din urmă numai pentru stabilirea unor factori tectono-magmatici care controlează astfel de mineralizații.

Din punctul de vedere al posibilităților de prospectare geofizică, mineralizațiile din această grupă prezente în țara noastră se împart în două categorii principale.

O primă categorie o reprezintă filoanele, volburile și stockurile legate genetic de zonele de caolinizare a vulcanitelor neogene. În astfel de situații electrometria pe baza potențialului natural, a rezistivității aparente sau a polarizării induse — după caz — poate conduce la informații concludente. În fig. X.53 este prezentată harta anomaliei potențialului natural produsă de un stock de pirită auriferă din zona Baia de Arieș în Apusenii de sud, din care reiese că mineralizația se reflectă într-o anomalie de minim bine conturată, de intensitate mică de numai -40 mV, care circumscrie secțiunea orizontală a stockului așa cum este cunoscută în adîncime din lucrările miniere (Gavăț et al., 1973). Anomalia a fost controlată și prin metoda rezistivității aparente în varianta sondajului electric vertical, pe secțiunile geoelectrice prezența stock-ului aurifer în adîncime reflectîndu-se prin existența unor zone conductoare.

Rezultate asemănătoare s-au obținut și în alte zone din Munții Apuseni și Gutâii

Cea de-a doua categorie este reprezentată de existența mineralizațiilor auror argentifere legate genetic de zonele de silicifiere și, îndeosebi, cele de tipul filoanelor de cuarț aurifer. În acest caz, datorită conductibilității electrice foarte scăzută în valoare a cuarțului, prezența unor astfel de filoane poate fi foarte clar pusă în evidență îndeosebi prin metoda rezistivităților.

Un exemplu concludent în acest sens îl reprezintă rezultatele obținute în zona Batarci din Munții Oașului (Mihail și Nicolau, 1970). În fig. X.54 este reprodusă o porțiune din imaginea variației rezistivității aparente obținută prin profilare electrică, pe care se individualizează clar un ax de maxim rezistivimetric, atingînd valori de 1000 Ω m față de un nivel de fond de numai 50—100 Ω m, corespunzător unui filon de cuarț aurifer cu direcția aproximativ nord-sud plasat în vecinătatea Vîrfului Rădălcinii. Pentru precizarea zonelor anormale de rezistivitate din partea sudică a acestui sector și a urmăririi evoluției acestora în adîncime, a fost executată o secțiune geoelectrică prin sondaje electrice verticale, reprodusă în fig. X.55. Pe această secțiune apare evidentă existența a două zone rezistive, cu orientare verticală, produse probabil de două astfel de filoane; în partea superioară a aceleiași figuri sînt reproduse și anomalii la suprafață a rezistivității aparente, potențialului natural și polarizabilității aparente care prezintă o remarcabilă corespondență între ele, reflectînd pe lîngă efectul celor două filoane de cuarț aurifer și pe acela al impregnațiilor de pirită, îndeosebi cele din vecinătatea suprafeței. Rezultatele geofizice obținute în acest sector au servit la orientarea lucrărilor de explorare prin galeriile de coastă de la Rădăcini și de la Bătărcel.



Fig. X.53. Imaginea anomaliei potențialului natural deasupra unui stock de pirită auriferă din Apusenii de sud (după Fl. Scurtu, 1961 — preluat de la I. Gavăț et al., 1973).

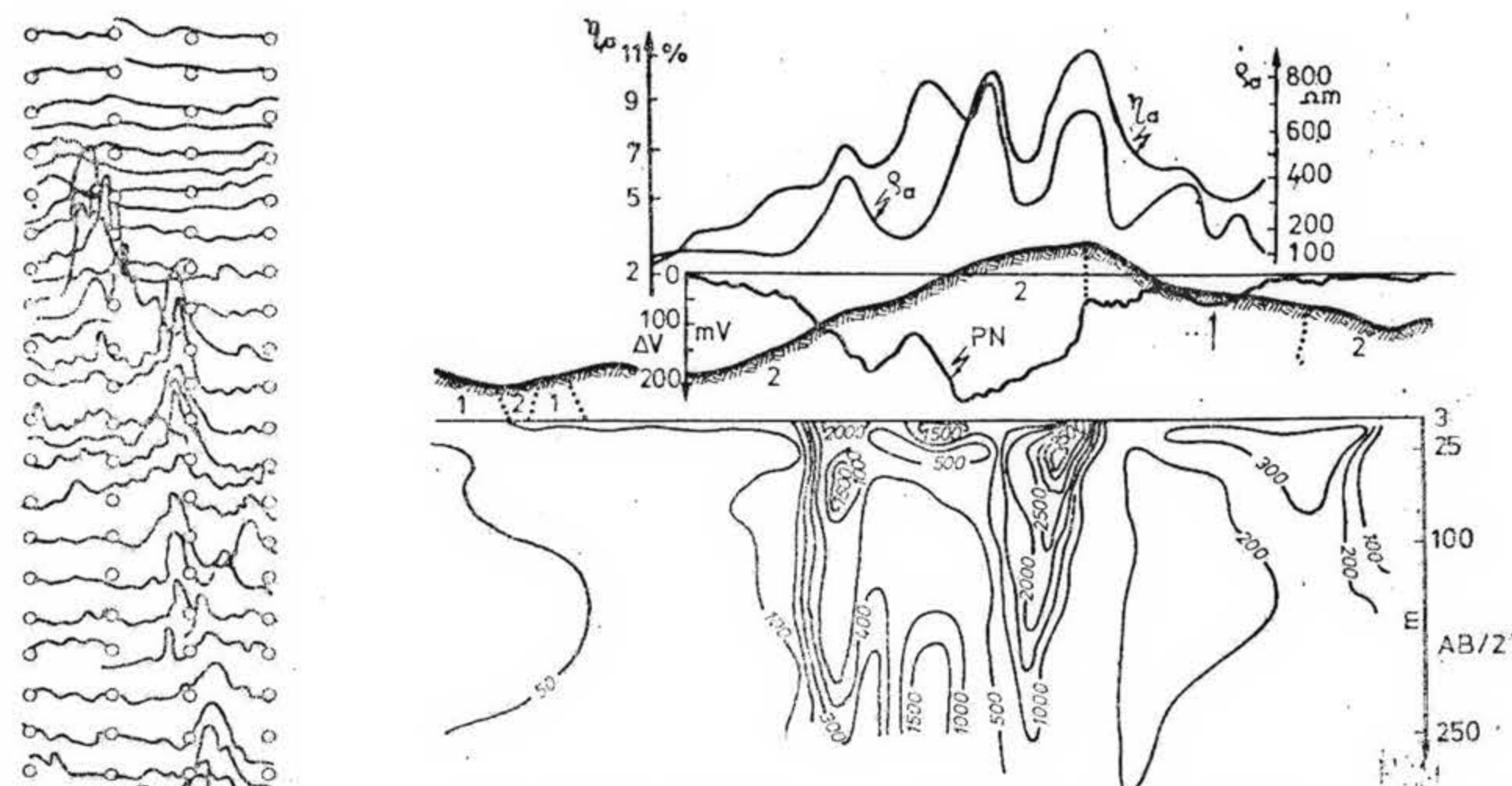


Fig. X.54. Variația rezistivității aparente pe profile paralele în sectorul VI. Rădăcinii, zona Batarci, de-a lungul unui filon de cuarț aurifer (după Cr. Mihail și S. Nicolau, 1970).

2.3.4. MINERALIZAȚII DE ELEMENTE RADIOACTIVE, RARE ȘI DISPERSE

În această grupă intră în primul rând mineralizațiile de uraniu, thoriu, tantal, niobiu, beriliu, zircon și litiu.

Prospectarea mineralizațiilor de metale radioactive se realizează cu ajutorul metodei radiometrice în variantele aero dar, mai ales, la sol cu caracter de mare detaliu. Uraniul este strâns asociat cu roci granitice și granodioritice în zăcămintele de tip hidrotermal, însă — datorită marii mobilități a lui — se mai concentrează și pe suport organic în roci metamorfice care conțin serii de sisturi grafitoase, carbunoase și altele pentru care acest element chimic are afinitate.

Din cauza ecranării puternice a câmpului de radiații γ , prospectarea mineralizațiilor uranifere este limitată la acumulările care se găsesc la adâncimi mici față de suprafață. Datorită acestei situații pentru identificarea acestora se procedează de obicei în două etape și anume:

— localizarea și studierea aureolelor de dispersie, primară sau secundară, în cuvertura superficială sau zona de alterare de la suprafață;

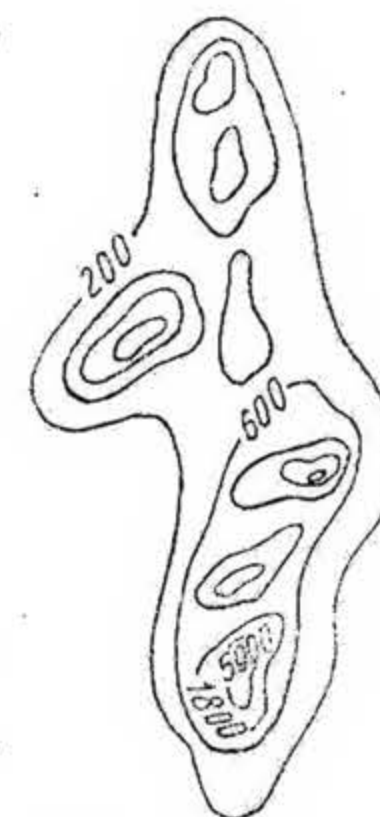


Fig. X.56. Imaginea anomaliilor radiometrice exprimate prin valorile maxime ale câmpului de radiații γ în găuri de 6 m adâncime (după N. Cirstoiu et al., 1973 — preluat de la R. Botezatu et al., 1976).

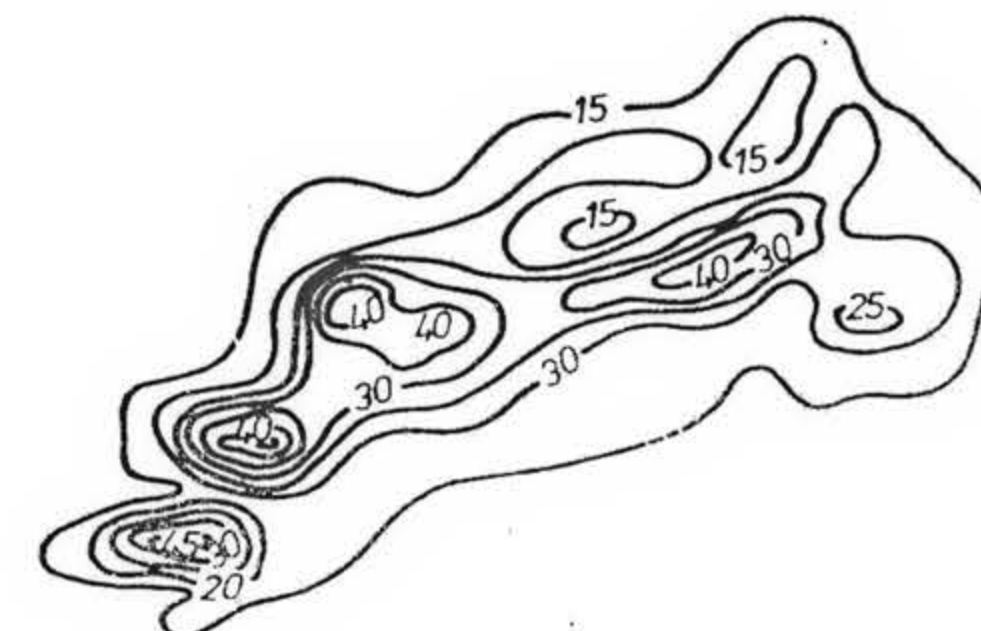


Fig. X.57. Imaginea anomaliilor radiometrice la suprafață într-o zonă din masivul de roci alcaline de la Ditrău, produsă de un filon de sulfuri complexe cu conținut de monazit (după E. Gohn, 1968 — preluat de la I. Gavăț et al., 1973).

— efectuarea de măsurători sau microcarotaje radiometrice în găuri forate cu adâncimi, după caz, de câțiva metri până la câteva zeci de metri, amplasate la un gabarit mic pe aria aureolei de dispersie.

În fig. X.56 este prezentat un exemplu de anomalie radiometrică produsă de o fractură mineralizată cu uraniu, situată în formațiuni metamorfice, stabilită în găuri forate după o prealabilă informație privind existența unei aureole de dispersie în zona de oxidație și de argilizare corespunzătoare de la suprafață (Botezatu et al., 1976).

Acumulările de metale rare și disperse sînt, în general, asociate cu minerale de uraniu și thoriu, ceea ce le conferă o radioactivitate ridicată și face posibilă prospectarea lor prin radiometrie; prezența uneori a magnetitului, hematitului, piritei și molibdenitului, le asigură și proprietăți magnetice mai intense, ceea ce le permite să se reflecte și în anomalii magnetice.

În fig. X.57 este prezentat cazul anomaliilor radiometrice determinată la suprafața solului și produsă de un filon constituit din sulfuri complexe, monazit și minerale de pământuri rare, situat în zona Jolotca din masivul de roci alcaline de la Ditrău, Carpații Orientali (Gavăț et al., 1973).

2.3.5. ACUMULĂRI DE SUBSTANȚE NEMETALIFERE ȘI ROCI UTILE

În prezent există peste 60 de substanțe nemetalifere care interesează ca materie primă pentru diferite ramuri ale industriei sau ca materiale necesare în anumite procese tehnologice ale industriei, pentru care sînt puse la punct tehnologiile de exploatare și de înnoibilare ale acestora. Cu excepția diamantelor industriale, în țara noastră se găsesc substanțe din această categorie sau există condițiile potențiale geologice — pentru cantități mai mari sau mai mici, cu calități mai bune sau mai puțin bune — pentru aproape întreaga gamă sortimentală cerută de industrie. Dintre acestea amintim ca mai importante: grafit, rocă cu sulf, gips, celestină, baritină, disten, wollastonit, pegmatit cu mică, talc, azbest, feldpsat, cuarț, perlit, calcar pentru siderurgie, cretă, dolomită, argile refractare, caolin, nisipuri silicicase, bentonită, diatomită și altele. La acestea se adaugă rocile utile pentru construcții, ca: balast și agregate pentru betoane, granite și alte roci magmatice pentru piatră spartă, criblură, piatră fasonată etc., roci ornamentale pentru plăcări exterioare sau interioare (marmură, travertin, roci eruptive cu diferite colorații) și încă multe altele.

Problema prospectării geofizice a acumulărilor unor astfel de substanțe are desigur și limitări fizice dar, în primul rînd, de natură economică, deoarece ele trebuie să fie aduse în circuitul economic la un preț de revenire în general mic. Un astfel de preț de cost nu poate fi asigurat decît printr-o exploatare de preferință în carieră și o conturare a rezervelor pe căi cît mai puțin costisitoare; or, metodele geofizice sînt mai scumpe decît observațiile geologice directe și efectuarea de lucrări miniere ușoare (dezveliri, șanțuri, puțuri și foraje de mică adîncime, galerii de coastă scurte) prin care se poate asigura conturarea volumelor și stabilirea calității substanțelor respective.

Există totuși unele substanțe, de valoare mai mare, pentru care metodele geofizice devin necesare și este justificată aplicarea lor. În cele ce urmează vom prezenta trei exemple din care reiese natura problemelor din această categorie și soluțiile cercetării geofizice românești pentru rezolvarea lor.

În țara noastră, grafit exploatabil pentru concentrate de mare puritate (peste 90–95% carbon), grafit coloidal, suspensie de grafit etc., se găsește în Munții Căpățînii, la izvoarele Oltețului, găzduit de șisturile grafitoase din complexul de metamorfite constituit din granite gnaisice în care sînt prinse acestea împreună cu amfibolite, șisturi cloritoase și filite. Complexele grafitoase se prezintă sub formă de benzi paralele afectate de decroșări și lentilizări pe direcția de dezvoltare a lor. Dintre metodele geofizice, cea mai eficientă pentru conturarea lentilelor de rocă cu grafit s-a impus electrometria în varianta potențialului natural. În fig. X.58 este reprodusă informația obținută pe această cale într-un sector din această zonă, din care reiese reflectarea prin minime intense ale potențialului natural a lentilelor de rocă cu grafit al căror contur — stabilit după verificarea cu lucrări miniere — este marcat prin linie punctată (Gavăț et al., 1973).

Baritina este o altă substanță nemetaliferă de mare interes, întrucît ea îngreună al noroaielor pentru forajele adînci. Baritină apare frecvent în ganga mineralizațiilor de sulfuri polimetalice și auro-argentifere, însă zăcămintele mai importante sînt cele în care acest mineral s-a format prin substituție în masa unor depozite de calcare sau dolomite. Un astfel de zăcămint este cel de la Dealul Cortelu din zona Somoș, în Dobrogea de nord, genetic legat de procesele de substituție metasomatică a calcarelor triasice sub influența unui corp de porfire cuarțifere pus în loc în cuprinsul acestora.

Această zonă a fost prospectată magnetic, electrometric și gravimetric, obținându-se informații provenite fie de la corpul de magmatite, fie de la mineralizațiile diseminate de sulfuri complexe, fie — în sfîrșit — de la însăși corpul de baritină. Avînd o densitate mare ($3,65 \text{ g/cm}^3$), mineralizația masivă de baritină realizează un contrast mare de densitate, de ordinul $+1,00 \text{ g/cm}^3$, față de calcarele și de porfirele între care

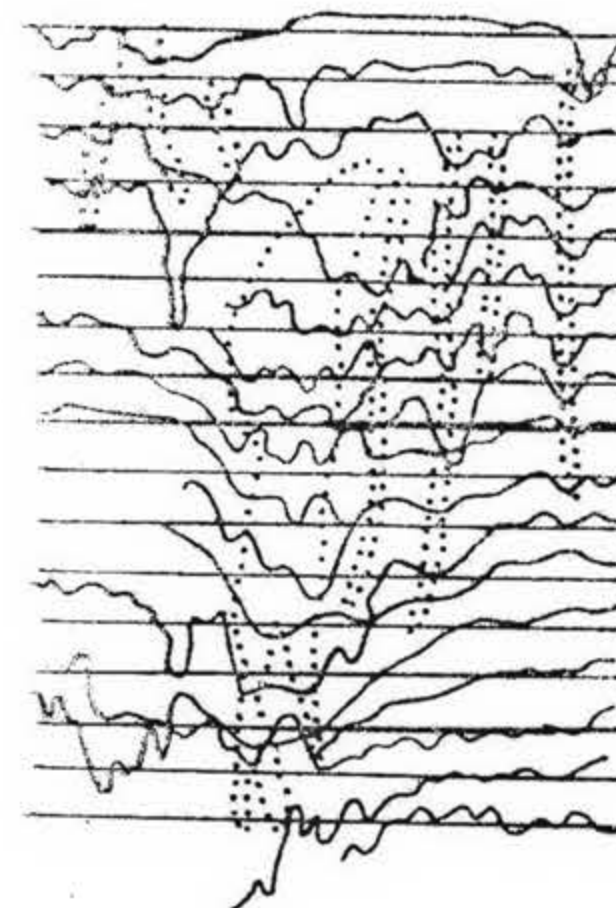


Fig. X.58. Imaginea variației potențialului natural într-o zonă mineralizată cu grafit de la izvoarele Oltețului (după I. Stoica și M. Stoica, 1965 — preluat de la I. Gavăț et al., 1973).

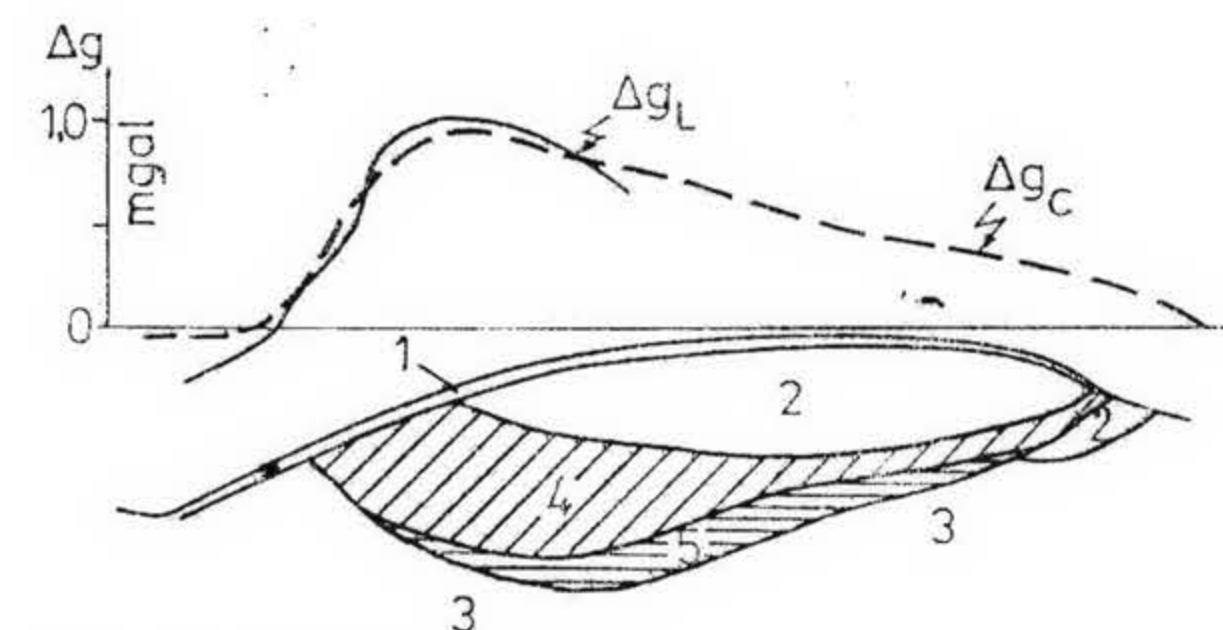


Fig. X.59. Modelul geologic de simulare de-a lungul unui profil E—V al corpului de baritină de la Dealul Cortelu, determinat pe baza datelor geologice și a informației gravimetrice:

Δg_L — anomalia gravimetrică locală; Δg_C — efectul gravimetric al modelului; 1 — loess; 2 — calcare triasice; 3 — porfire cuarțifere; 4 — zăcămintul de baritină; 5 — corp de impregnație cu sulfuri polimetalice (după M. Visarion et al. 1974).

este încorporat. Acest fapt a asigurat informației gravimetrice condiții foarte bune de a se concretiza într-o anomalie de maxim care depășește 1 mgal . În fig. X.59 este reprodus un model al corpului de baritină construit pe baza informației gravimetrice și a celor geologice, controlul modelului obținut fiind realizat prin efectul gravitațional Δg_C pe care îl produce și care, așa cum lesne se poate constata, prezintă o bună corespondență cu anomalia gravimetrică locală Δg_L , pe porțiunea pe care aceasta a fost cartată (Visarion et al., 1974).

Mica sub formă de plăci, fulgi sau micronizată este, de asemenea, o substanță necesară industriei. Rezultate foarte interesante în cercetarea pegmatitelor micafero din regiunea Voineasa-Lotru în extinderea corpurilor cunoscute au fost obținute de către Iordache (1966) prin electrometrie în varianta potențialului natural. Corpurile de pegmatite micafero din această zonă se prezintă ca interstratificații în micașisturile și gnaisurile seriei cristaline de Lotru și apar ca lentile, stock-uri și cuiburi, avînd forme și mărimi foarte variate. Muscovitul este în conținut de circa 12% și are dimensiuni de 20–150 mm în suprafață și grosimi pînă la 40 mm, procesele de alterare datorate circulației apelor generînd electropotențiale naturale care ating -150 mV , față de valori de fond ale rocilor sterile de $+5$ pînă la $+50 \text{ mV}$.

În fig. X.60 este reprodus un profil al potențialului natural din sectorul Cataracte. Anomaliile de minim PN obținute au fost ulterior verificate prin șanțuri, puțuri și galerii care au identificat concentrații de mică. Autorul a determinat și o relație pe dependență între conținutul în mică, suprafața de cristalizare și valoarea potențialului natural generat, dependență care are un caracter liniar, ceea ce permite diagnosticarea valorii economice pe baza însăși a intensității anomaliilor PN obținute prin

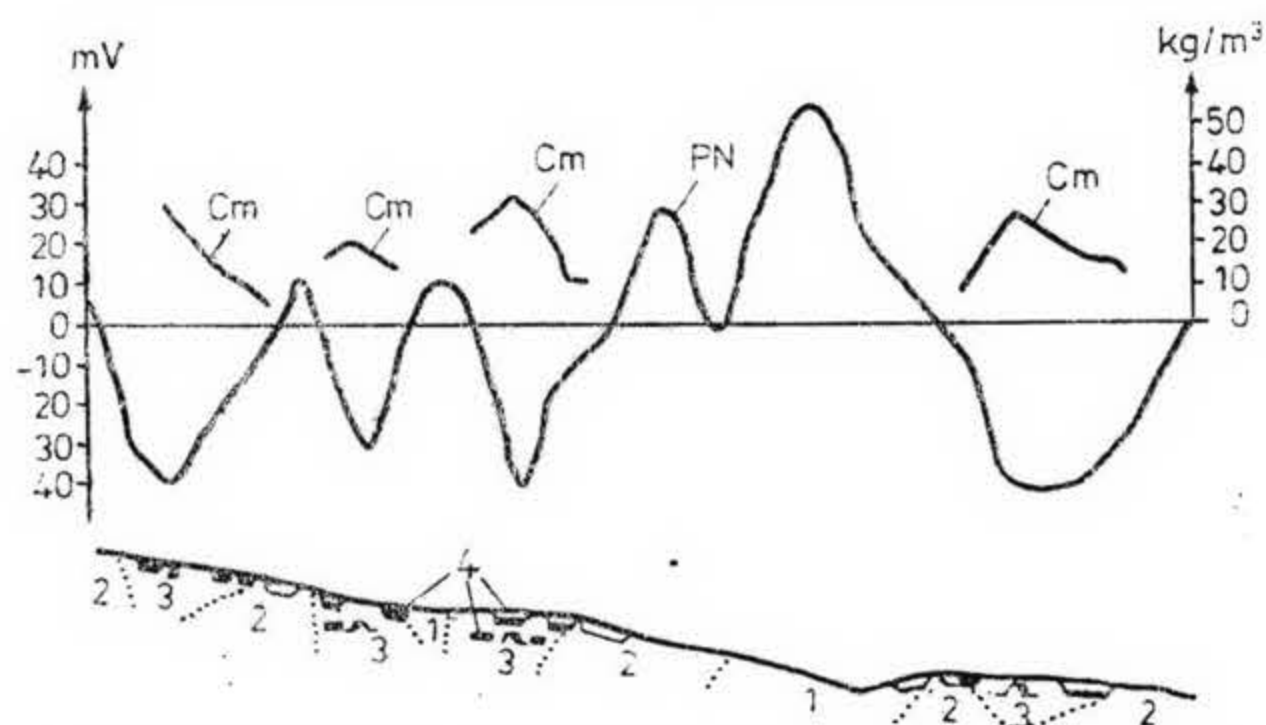


Fig. X.60. Variația potențialului electric natural PN și a conținutului în mică C_m de-a lungul unui profil în zona Voineasa-Lotru, sectorul Cataracte, în paralel cu secțiunea geologică și lucrările de explorare:

1 — micașisturi; 2 — pegmatite nemineraleizate; 3 — pegmatite micafero; 4 — mineralizări de mică identificate prin lucrări miniere (după S. Gh. Iordache, 1966).

prospecțiunea geofizică. Valoarea medie statistică determinată în acest caz este de $1,03 \pm 0,6$ kg mică/m³ rocă/mV.

În fig. X.61 este reprodusă o porțiune din harta anomaliilor potențialului natural în sectorul Mănăileasa Mare 2, în care intensitatea anomaliilor nu depășește -40 mV. În acest sector îmbogățirile în mică, așa cum au arătat lucrările miniere, se prezintă ca lentile de dimensiuni reduse, însă cu o frecvență mai mare și aliniată pe direcții preferențiale corespunzătoare celor de șistozitate a rocilor cristalofiliene, fapt bine sugerat încă de la început de către informația geofizică.

2.3.6. ZĂCĂMINTE DE CĂRBUNI ȘI ROCI COMBUSTIBILE

Prospectarea geofizică a stratelor de cărbuni sau de alte roci combustibile, ca de exemplu șisturile grafitoase sau cărbuncase și, eventual, a unor tipuri de șisturi disodilice cu conținut mai ridicat în materie organică, pune probleme deosebit de grele.

O informație indirectă asupra prezenței unor astfel de substanțe în subsol este deocamdată imposibilă, cel puțin în țara noastră, deși ele se diferențiază față de rocile terigene care le conțin prin contraste mari de densitate, de rezistivitate electrică specifică și de impedanță acustică sau de coeficient de reflexie, producând în situații favorabile și electropotențiale naturale. Această limitare a aplicabilității metodelor geofizice provine din două caracteristici ale stratelor de astfel de substanțe și anume:

— grosime mică, de la unul la câțiva metri;

— caracter concordant cu al stratelor terigene în care s-au format, suportând împreună cu ele o evoluție tectonică care a condus la forme structurale comune.

Stratele de lignit inferior din Oltenia, orizontale sau slab inclinate, care interesează din punct de vedere economic, exploatabile de preferință în carieră, nu pot fi prospectate seismometric prin refracție; ele realizează coeficienți de reflexie și, mai ales, suprafețe de reflexie bune și foarte bune, așa cum au dovedit-o prospecțiunile pentru petrol din Depresiunea Precarpatică a Munteniei la descifrarea structurii Levantinului inferior și a Dacianului, însă informația seismică de reflexie nu poate proveni decât de la adâncimi care depășesc 350–400 m, astfel încât stratele de lignit de mică adâncime nu intră în incidența posibilităților acestei metode.

Stratele de lignit superior și, mai ales, cele de huiă energetică, huiă cocsificabilă, antracit și șisturi combustibile din Banat (Anina), se găsesc asociate unor structuri geologice puternic tectonizate, în condiții de combinare a unor elemente plicative și disjunctive care le conferă înclinări mari, falieri și decroșări, caracteristici care, de asemenea, devin prohibitive pentru metoda seismometrică.

Datorită acestor situații profund defavorabile, cercetarea geofizică pentru astfel de substanțe în România a fost foarte redusă și ca volum, și ca obiective, cu toate că metodele geofizice în alte părți ale lumii, dar și în alte condiții de structură geologică și de acumulări de cărbuni, au adus contribuții importante ca de exemplu: cea gravimetrică la Borken în R. F. Germania, cea electrometrică în Bazinul Moscovei, U.R.S.S., cea gravimetrică la Lickey Hills-Nuneaton în sudul Angliei, cea electrometrică în Bazinele Karaganda, Lvov și Donbass din U.R.S.S. și altele (Gavăț et al., 1973).

Dar dacă metodele geofizice nu pot aduce în condițiile din țara noastră informații direct de la stratele de cărbuni, unele din ele pot aduce contribuții la descifrarea structurii bazinelor cunoscute sau posibil carbonifere, în sensul stabilirii forme și adâncimii fundamentului acestora, a variațiilor de grosime a formațiunilor din cuprinsul cuverturilor sedimentare, a localizării accidentelor tectonice majore etc. În acest sens, indicații interesante a adus informația gravimetrică și cea seismometrică pentru Bazinul Petroșani; de asemenea, cea seismometrică pentru Bazinele Caransebeș și Hațeg (Vasilu și Solomon, 1975) și altele.

2.3.7. ZĂCĂMINTE DE SARE ȘI SĂRURI DE POTASIU ȘI MAGNEZIU

Prospectarea geofizică a acumulărilor de sare cu sau fără săruri de potasiu și magneziu este favorizată de faptul că aceasta se diferențiază puternic prin densitate, viteză de propagare a undelor elastice și rezistivitate electrică specifică față de rocile terigene în care sînt încorporate. Dintre toate metodele geofizice, cea gravimetrică a avut și are o eficiență remarcabilă la descoperirea și conturarea acumulărilor ascunse de sare, contribuind pînă în prezent la punerea în evidență a aproape 200 de masive de sare care nu erau cunoscute în țara noastră; pentru unele acumulări de sare, și informația seismometrică a contribuit la stabilirea îndeosebi a dezvoltării lor în adâncime. O sinteză a aportului metodelor geofizice pentru această substanță a fost făcută de Botezatu et al. (1970).

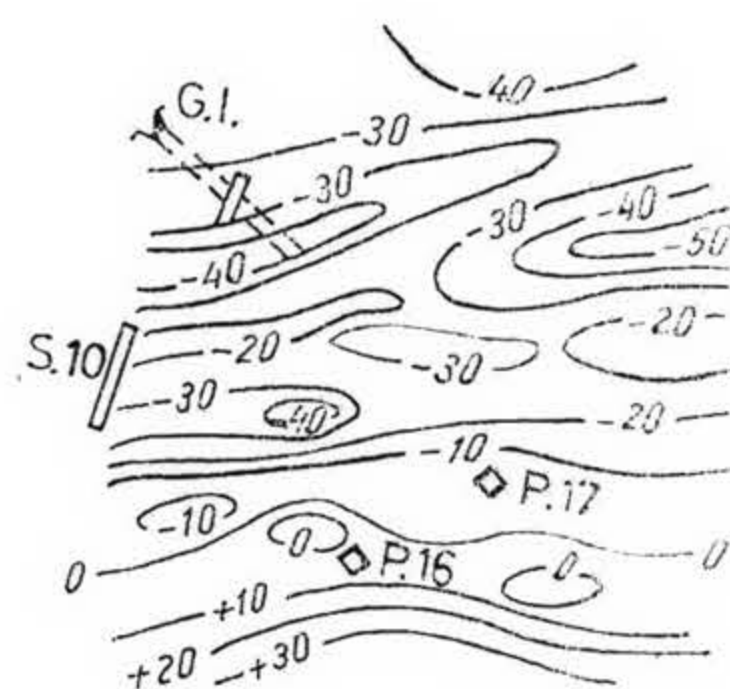


Fig. X.61. Imaginea anomaliilor potențialului electric natural PN în zona Voineasa-Lotru, sectorul Mănăileasa Mare 2 (după S. Gh. Iordache, 1966).

de metri, obținerea de informații privind principalii componenți utili ai mineralizațiilor și aprecieri asupra extinderii zăcămintelor.

Principiul metodei de prospectare geochimică constă în identificarea zonelor cu conținuturi superioare, anormale, unei valori medii, specifice mediului geologic respectiv, numită *fond geochimic*. Conținuturile anormale sînt puse în legătură, de cele mai multe ori, cu existența unor mineralizații. Conturarea zonelor cu conținuturi anormale evidențiază anomaliile geochimice care, din punct de vedere genetic, pot fi:

- primare, formate în aceleași condiții cu mineralizațiile;
- secundare, determinate de schimbarea condițiilor de stabilitate a mineralelor specifice zăcămintelor.

Extinderea aureolelor geochimice depășește cu mult aria mineralizațiilor și prin aceasta sînt ușor de identificat. Modul în care se produce dispersia elementelor poate fi chimic, biologic sau fizic.

În funcție de mediul de dispersie cercetat, prospecțiunile geochimice se pot clasifica în: litogeochemice, pedogeochemice, hidroggeochemice, atmogeochemice și biogeochemice.

După scara la care se execută lucrările de prospectare, acestea se împart în: regionale (preliminare, informative sau strategice) — la scară mică și de detaliu (tactice) — la scară mare.

Dozarea elementelor cercetate se face prin metode de analiză fizico-chimice (analize spectrografice, spectrometrie de absorbție atomică, activare cu neutroni, colorimetrie etc.), metode de mare productivitate, sensibilitate și precizie sporită.

Elementele analizate sînt de cele mai multe ori elementele urmă capabile să formeze zăcămintele specifice (indicatori direcți), ca de exemplu Cu, Pb, Zn, Mo etc., elementele urmă ce însoțesc un anumit tip de mineralizații fără a forma concentrații valorificabile din punct de vedere economic (indicatori indirecți) ca de exemplu Cd, Ba, F, B sau elemente majore ce tind să se concentreze ca urmare a unor fenomene specifice formării mineralizațiilor, așa cum este cazul K, Na, Mg în adularizări, albiziări și dolomitizări.

3.1. PROSPECTIUNEA LITOGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea litogeochemică se poate executa la scară regională sau pe suprafețe restrînse, la scară mare.

Prospecțiunea litogeochemică regională urmărește stabilirea fondului geochimic al unor formațiuni specifice regiunilor luate în studiu și identificarea zonelor anormale de maximă perspectivă.

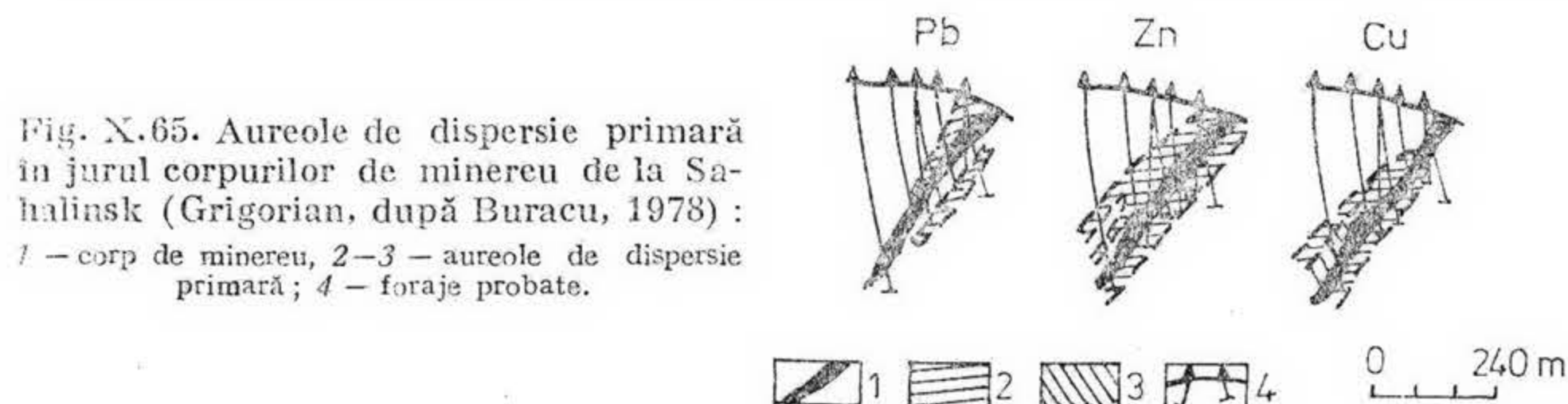
Prospecțiunea litogeochemică de detaliu are drept scop identificarea mineralizațiilor pentru care există unele indicii, precizarea tipului de mineralizație sau a poziției acestuia.

Prezența unor zone cu alterații hidrotermale este o indicație privind existența fenomenului hidrotermal și deci și a posibilității existenței unor mineralizații. În legătură cu aceste zone se pune problema dirijării cercetării prin lucrări miniere și foraje, cu maximă eficiență, pentru interceptarea eventualelor mineralizații. Cercetarea litogeochemică sistematică a rocilor din aceste zone indică, pentru numeroase elemente, o tendință de concentrare în jurul căilor de circulație a soluțiilor hidrotermale. Pozițiile

reciproce ale anomaliilor diferitelor elemente permit precizarea poziției zăcămintului ca urmare a dezvoltării lor diferențiate (fig. X.65).

Abateri ale anomaliilor primare de la pozițiile ideale pot fi determinate de o serie de factori printre care: caracteristicile petrografice ale formațiunilor (constituția petrografică, porozitatea, permeabilitatea, structura și textura) și tectonice. Identificarea anomaliilor pentru asociații caracteristice de elemente poate furniza date asupra tipului de zăcămint.

Prelevarea probelor în prospecțiunea litogeochemică se face în funcție de scopul urmărit și de caracteristicile terenului. În prospecțiunea litogeochemică regională rocile



sînt colectate de pe profile transversale pe structura geologică, distanțele între profile putînd merge pînă la 500 m. Distanțele între probe, pe același profil, variază între 50 și 200 m, urmărindu-se eșantionarea fiecărui tip petrografic în parte. În prospecțiunea de detaliu profilele sînt mai dese, iar distanțele între probe pot ajunge pînă la 5 m. Lucrările miniere și forajele se probează la intervale de 1—5 m în cazul indicațiilor privind existența unor mineralizații și la distanțe mai mari pentru zonele presupuse ne semnificative.

Greutatea probelor este în funcție de omogenitatea petrografică, structura și textura formațiunilor. Pentru roci relativ omogene și cu structuri fine, cantitatea de probă este mai mică (50—100 g) în timp ce pentru roci larg cristalizate și neomogene probele sînt mai mari (100—250 g). Nu se recomandă colectarea de probe medii (în brazdă), care nu permit sesizarea sensului de variație a conținuturilor. În cazul rocilor prelevate de la suprafață, acestea nu trebuie să fie afectate de fenomene de alterare superficială, deoarece conținuturile pot suferi modificări.

Analizele se execută pe probe globale de roci, pe concentrate minerale sau pe probe monominerale în cazurile în care sînt necesare precizări privind tendințele de concentrare ale elementelor urmă în anumite faze minerale. Pentru precizarea tipului de legătură a elementelor urmă (chimică sau fizică) se fac determinări prin dezagregarea totală a rocii sau pe extrase cu reactivi organici care nu afectează rețelele mineralelor, solubilizînd numai elementele reținute prin legături fizice.

3.2. PROSPECTIUNEA PEDOGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea pedogeochemică este o metodă de investigație geochimică a zăcămintelor de minereuri metalifere cel mai frecvent utilizată, ca urmare a răspîndirii largi a solului, a ușurinței de prelevare a probelor din sol, a costului relativ redus al analizelor și al obținerii unor rezultate foarte semnificative.

Principiul metodei constă în *identificarea aureolelor geochimice secundare* la anumite nivele din sol.

În prospecțiunea pedogeochimică regională se urmărește determinarea fondului geochimic al zonei luate în studiu, identificarea unor eventuale anomalii și, în unele zone cum sînt cele caracterizate prin soluri groase lipsite de aflorimente, delimitarea cartografică a unor formațiuni din subsol caracterizate prin contrast geochimic (amfibolite-cuarțite, peridotite-granite etc.).

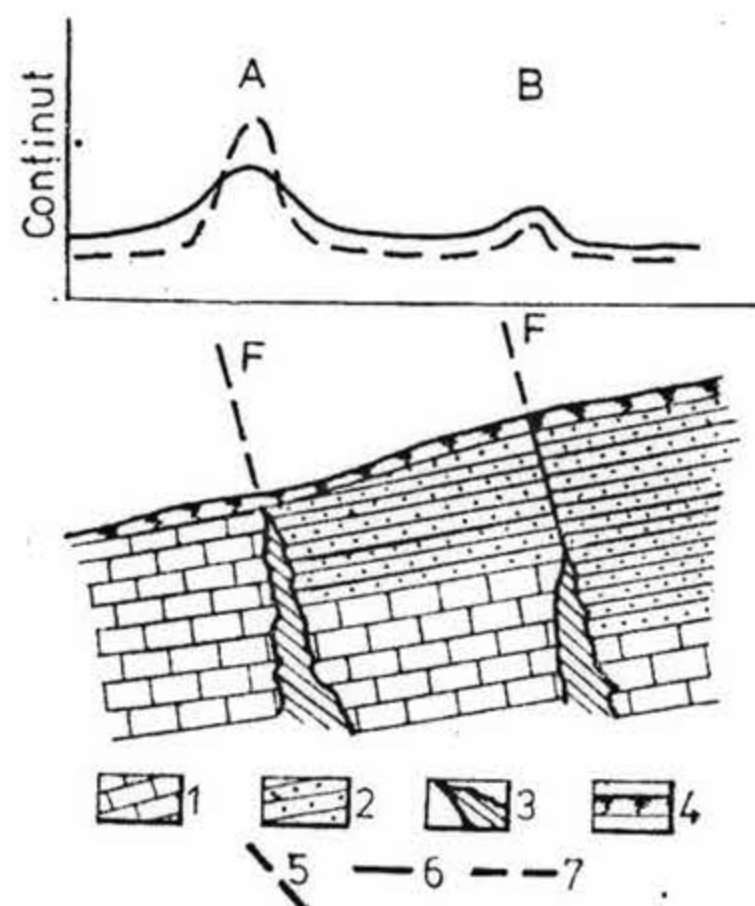


Fig. N.66. Anomalii pedogeochimice pe sol rezidual (A) și anomalii de „scurgere” (B), în cazul zăcămintelor de Pb și Zn
1 — calcare; 2 — argile grezoase; 3 — corp de minereu;
4 — sol; 5 — falie; 6 — curba variației conținuturilor de Zn;
7 — curbura variației conținuturilor de Pb.

Prospecțiunea pedogeochimică de detaliu urmărește delimitarea unor anomalii geochimice în regiuni unde există indicații privind existența unor mineralizații și amplasarea unor lucrări de cercetare cu maximum de eficiență.

Solurile sînt formațiuni actuale sau recente care prezintă caracteristici structurale în funcție de condițiile pedogenetice și gradul de maturizare. În cele mai multe soluri pot fi identificate trei orizonturi:

— orizontul A constituie partea superioară a solului și se individualizează prin prezența în cantități variabile a substanțelor de natură organică alături de cele de natură minerală. Grosimea orizontului A este cuprinsă, în general, între 15 și 35 cm;

— orizontul B este constituit din componenți anorganici: minerale argiloase, oxizi și hidroxizi de fier, mangan, aluminiu, siliciu, carbonați și alții. Compoziția mineralogică a acestui orizont este determinată de compoziția rocii din subsol (roca mamă), de condițiile pedogenetice și de gradul de maturizare al solului. Grosimea acestui orizont este variabilă în limite largi;

— orizontul C face trecerea la roca proaspătă nealterată și este constituit din componenți specifici orizontului B, fragmente de rocă și uneori faze minerale specifice, de trecere (metastabile) de la cele ale rocii proaspete la cele ale orizontului B. Grosimea acestui orizont este de asemenea variabilă.

Dispersarea elementelor în soluri se poate face pe cale fizică, în cazul elementelor cuprinse în mineralele rezistente la alterarea supergenă (aur nativ, cromit, cinabru etc.) sau pe cale chimică, în cazul elementelor cuprinse în minerale ce se alterează ușor (sulfurile sau compuși similari în cele mai multe cazuri). Reținerea elementelor dispersate se poate face pe cale chimică, ca urmare a apariției unor compuși mai puțini solu-

bili în apropierea suprafeței (carbonați, vanadați, molibdați etc.) sau pe cale fizică, prin adsorbția elementelor pe constituenții coloidal ai solului, cum sînt mineralele argiloase, oxizii și hidroxizii de fier și mangan, compuși organici și alții.

Concentrațiile elementelor urmă în soluri sînt diferite, în funcție de tipul de sol, de adîncime, de gradul de maturitate al solului, de caracteristicile geochimice ale elementelor analizate și de poziția mineralizațiilor care le-au generat față de sol.

Pozițiile anomaliilor pedogeochimice față de mineralizațiile care le-au generat se pot suprapune sau pot fi deplasate în funcție de caracteristicile morfologice, hidrogeologice, pedologice, litologice, de vegetație, de poziția corpului de minereu față de suprafața de eroziune și de proprietățile geochimice ale elementelor luate în studiu.

Prelevarea probelor în prospecțiunea pedogeochimică se face după profile orientate perpendicular pe direcția de dezvoltare a formațiunilor geologice sau a unor accidente tectonice posibil să controleze localizarea mineralizațiilor (falii, decroșări, axe de cute etc.), perpendicular pe direcția de apariție a unor corpuri de origine magmatică (dik-uri) sau transversal pe direcția dominantă de șistozitate a formațiunilor cristalo-filiene (pe cît posibil perpendicular pe S_0) sau pe direcțiile de dezvoltare a zonelor ce prezintă alterații hidrotermale sau fenomene pirometasomatice.

Echidistanța dintre profile se alege în funcție de tipul de mineralizație presupus și de tectonica care a afectat zona. În cazul zăcămintelor stratiforme, slab sau neafectate de fenomene rupturale, distanțele dintre profile pot fi mai mari (50 m), pentru ca în cazul zăcămintelor cu morfologie foarte complicată, afectate de o tectonică ulterioară, echidistanța să fie mult micșorată (15–20 m). Distanțele dintre probe pe același profil sînt mult mai mici (10 m în general).

Adîncimea de prelevare a probelor este constantă și ea se alege în așa fel încît să corespundă tranziției de la orizontul A la orizontul B (20–25 cm). Pentru prelevarea probei se face o gaură în sol cu ajutorul unei tije metalice, pînă la adîncimea stabilită pentru extragerea probei, după care se introduce carotiera cu ajutorul căreia se scoate o primă probă. Pentru a avea un eșantion de sol cît mai puțin contaminat, fie cu material din părțile superioare ale găurii, fie de la proba prelevată anterior, primul material scos este îndepărtat, după care se ia proba în greutate de 50 pînă la 100 g. Proba se introduce în pungi de hîrtie cu pereți dubli, cel interior fiind confecționat din hîrtie pergament, sau în pungi de polietilenă. Pe pungi se notează sectorul, data prelevării probei, numărul profilului și al probei.

Analizarea probelor se execută în parte în laboratoarele de teren, pentru identificarea operativă a eventualelor zone anormale și în laboratoare centrale, în totalitate. Analizarea probelor pe teren se face prin metode ce necesită o aparatură simplă (colorimetrie), iar în laborator prin metode de mare sensibilitate și productivitate (spectrografie de emisie, spectrometrie de absorbție atomică). În prealabil, probele sînt mojarate și omogenizate, iar în funcție de metoda de analiză folosită și de scopul urmărit pot fi analizate direct (dozări globale în spectrografia de emisie) sau după o dezagregare chimică, cu dozarea conținutului total al unor elemente (în spectrometria de absorbție atomică) sau prin solubilizarea elementelor reținute prin legături fizice (absorbție) și dozarea lor.

Rezultatele obținute în urma analizelor sînt trecute pe harta zonei cercetate, în dreptul punctelor de prelevare a probelor. Trasarea anomaliilor se face după prelucrarea matematică a datelor analitice, prin care se evidențiază pragul geochimic. Alegerea lucrărilor de verificare a anomaliilor (descoperite, șanțuri, puțuri sau galerii) și amplasarea lor se face după interpretarea geochimică a hîrtii, ținînd seama de cît mai mulți factori care pot conduce la apariția anomaliilor și la poziția ei.

3.3. PROSPECȚIUNEA HIDROGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea hidrogeochimică este larg utilizată în cercetarea preliminară a regiunilor pentru care sînt premise privind existența zăcămintelor de minereuri. Principiul metodei constă în *identificarea conținuturilor anormale în ape ale unor elemente specifice zăcămintelor de minereuri*.

Apele subterane sau de suprafață ce vin în contact cu mineralele specifice zăcămintelor pot solubiliza o parte din elementele constitutive, generînd aureole de dispersie secundară. Elementele dispersate în ape se pot prezenta fie sub formă de ioni liberi ca urmare a apariției în condiții de oxidare a unor săruri ce solubilizează și disociază puternic (sulfati, halogenuri), fie sub formă de componenți ai soluțiilor coloidale. Coloizii pot apare ca rezultat al unei fragmentări avansate a materialului (coloizi de origine mecanică) sau în urma unor reacții chimice, așa cum este cazul hidroxizilor de fier și mangan, mineralelor argiloase, unor compuși organici care pot adsorbi o parte din anionii sau cationii din apele subterane sau de suprafață. Combinații organice cu metale specifice zăcămintelor de minereuri sînt, de asemenea, prezente mai ales în apele de suprafață.

Solubilizarea elementelor din zăcămintele, extinderea și intensitatea anomaliilor hidrogeochimice depind de caracteristicile chimice ale elementelor luate în studiu, de compoziția mineralogică, de structura și textura minereului supus levigării și de o serie de factori de mediu, cum ar fi: compoziția apelor, cantitatea de material coloidal organic sau anorganic prezent în apă, clima, unghiul de pantă, natura rocilor pe care circulă apa, debitul etc.

Prospecțiunea hidrogeochimică se execută în special pe ape de suprafață și mult mai rar pe ape subterane.

Prospecțiunea hidrogeochimică pe ape subterane se realizează prin prelevarea probelor de ape din fîntîni, foraje și lucrări miniere.

Prospecțiunea hidrogeochimică pe ape de suprafață este mult mai frecvent utilizată, ca urmare a ușurinței prelevării probelor și a interpretării mai facile a datelor obținute.

Apariția anomaliilor hidrogeochimice în apele de suprafață poate fi efectul atît al unei spălări directe a unor mineralizații cît și al unui aport de ape din izvoare care provin din pînze freatice ce vin în contact cu mineralizațiile.

Anomaliile hidrogeochimice în apele de suprafață sînt situate în aval de corpurile care le-au generat, iar extinderea lor este funcție de specificul geochimic al elementelor luate în studiu, de forma sub care sînt dispersate elementele, de caracteristicile petrografice ale rocilor ce constituie talvegul etc. Trebuie menționat că rocile cu conținut ridicat de material organic, cum sînt de exemplu șisturile bituminoase și rocile carbonatice, constituie bariere geochimice în aval de care conținuturile scad sensibil.

Prelevarea probelor de apă în prospecțiunea hidrogeochimică pe ape de suprafață se execută din aval către amonte. Distanțele dintre probe sînt cuprinse între 15 și 40 m. La prelevarea probelor sînt evitate zonele de băltire de lîngă maluri, zonele de confluență, marile cursuri de ape. Se recomandă luarea probelor în regim staționar al debitului, evitîndu-se perioadele de viituri sau secetă prelungită. Probele se îmbuteliază în recipiente confecționați din sticlă sau material plastic, cu capacități de 0,25—1 l.

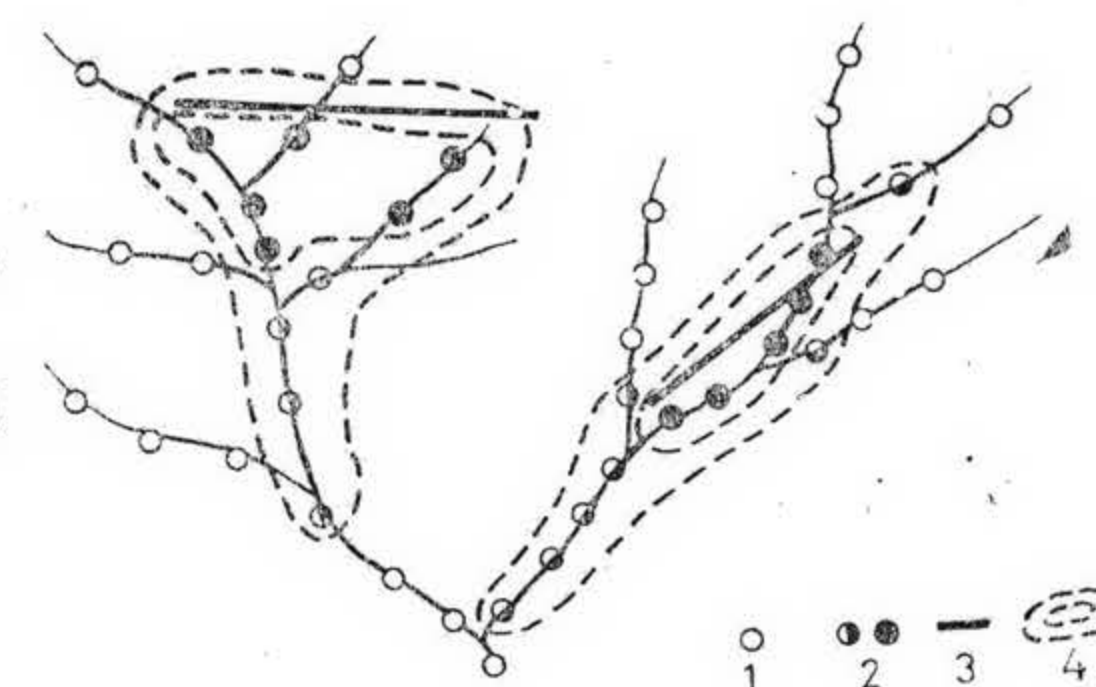
Analizarea probelor se face în timpul cel mai scurt posibil de la prelevare, pe cît posibil în laboratoare de teren. Analizele se execută pentru cantitatea totală de element luat în studiu, de obicei după o acidulare puternică, sau numai pentru elementele

prezente în stare ionică. Mai rar se fac analizele pe reziduul rămas după evaporare. Analizele curente se fac prin metode colorimetrice, în laboratoare de teren, sau prin spectrometrie de absorbție etomică în laboratoare centrale. Paralel cu dozarea elementelor se execută determinări de pH și de reziduu după evaporare, determinări necesare pentru interpretarea complexă a datelor.

Rezultatele cele mai bune în determinarea poziției mineralizațiilor ce determină anomaliile se obțin în cazul dozărilor de elemente în stare ionică, deși conținuturile sînt sensibil mai mici.

Fig. X.67. Aureole hidrogeochimice (Buracu, 1978):

1 — concentrații de fond; 2 — concentrații anormale; 3 — fractură mineralizată; 4 — aureolă hidrogeochimică.



Metoda este recomandată în regiunile cu soluri puțin evoluuate, în zone cu soluri nereziduale sau foarte groase. Interpretarea datelor este complexă, fiind necesară cunoașterea mai multor factori ce influențează apariția, extinderea și intensitatea anomaliilor. Ponderea pe care o au acești factori în controlul caracteristicilor anomaliilor (intensitate, contrast, poziție) este adesea dificil de apreciat din punct de vedere cantitativ.

3.4. PROSPECȚIUNEA ATMOGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea atmogeochemică este o metodă de investigație introdusă relativ recent în cercetarea zăcămintelor de minereuri. Principiul metodei se bazează pe determinarea conținuturilor în atmosferă sau în gazele de la nivelul solului, a unor elemente ușor volatile cum sînt Hg, I, Br și a unor gaze care apar în concentrații mai ridicate în apropierea zăcămintelor de minereuri (Rn, CO₂, CH₄, H₂S) și a compoziției unor suspensii solide mai mult sau mai puțin grosiere. Metoda a putut să se dezvolte mai ales ca urmare a metodelor de analiză pentru concentrații extrem de mici.

Elementul cel mai frecvent luat în studiu la prospectarea zăcămintelor de minereuri este mercurul. Aureole anormale pentru mercur au putut fi observate atît în gazele reținute la nivelul solului cît și în atmosfera din jurul unor zăcămintele de cinabru, cu minereuri polimetale sau de cupru diseminat. Dispersia mercurului este determinată de oxidarea cinabruului sau a altor sulfuri cu conținuturi de mercur cum este de exemplu blenda.

În atmosferă conținutul de mercur variază cu altitudinea, avînd tendința de scădere exponențială cu înălțimea. În sol mercurul este probabil reținut, în cea mai mare

parte, prin fenomene de suprafață (adsorbție). Concentrația mercurului se pare că depinde, în primul rând, de cantitatea de material organic. Astfel, la nivelul orizontului *A* conținuturile sînt totdeauna mai ridicate decît la nivelul orizontului *B*.

Anomaliile atmogeochemice pentru mercur sînt caracterizate printr-un contrast mare, fapt ce determină trasarea lor cu multă siguranță. Concentrațiile de fond pentru multe regiuni cu formațiuni eruptive este de ordinul 1 ng/m^3 ($1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$) sau mai mici, în timp ce pentru zonele anormale se depășește 10 ng/m^3 .

Posibilitatea vaporilor de mercur de a dispersa ușor prin formațiuni permite sesizarea unor zăcămintele de sulfuri în regiuni cu soluri nereziduale. Poziția anomaliilor față de corpurile de minereu care le-au generat este adesea influențată de tectonica regiunii, deasupra fracturilor ce afectează corpurile de minereu observîndu-se concentrații mai mari.

Conținuturile ridicate ale unor gaze inerte (He , Ne , Ar) și a H_2S și CH_4 sînt în unele cazuri indicatori pentru zăcămintele hidrotermale tinere, iar Rn pentru zăcămintele de uraniu.

Prelevarea probelor de gaze se execută pe profile orientate perpendicular pe structura regiunii, iar probele sînt luate din atmosferă, totdeauna de la aceeași distanță de sol și la presiune constantă sau prin extragerea gazelor din sol, de la aceeași adîncime, cu ajutorul unor pompe. Probele sînt închise ermetic în recipiente de sticlă, iar analizele se recomandă a fi executate în cel mai scurt timp, pentru evitarea unor reacții posibile cu pereții vaselor.

Metoda este recomandată pentru prospectarea zăcămintelor de mercur, în special, și a celor hidrotermale cu sulfuri, în general.

Cercetarea *suspensiilor* (aerosolilor) este o altă posibilitate de investigație caracteristică prospecțiunii atmogeochemice. Principiul se bazează pe posibilitatea existenței în atmosferă a unor particule cu compoziția formațiunilor de la suprafață. Metoda poate fi aplicată la prospectarea tuturor tipurilor de minereuri, cu condiția ca acestea să afloreze. În funcție de dimensiunile suspensiilor, greutatea lor specifică și condițiile atmosferice, acestea se pot întîlni în concentrații decelabile pînă la altitudini de ordinul a o sută de metri. Acest fapt permite posibilitatea colectării probelor din avion, prin survolarea unor regiuni întinse după profile egal distanțate ($100-500 \text{ m}$). În cele mai multe cazuri, probele se colectează prin filtre de tipul unor țesături confecționate din mătase sau material plastic, particulele fiind reținute ca urmare a încărcării electrostatice a materialului la frecarea cu aerul. Filtrele sînt arse, iar cenușa rezultată analizată.

Metoda este recomandată în prospectarea preliminară a regiunilor deșertice sau semideșertice lipsite de sol sau cu soluri scheletice.

3.5. PROSPECȚIUNEA BIOGEOCHIMICĂ

Metoda biogeochemică de prospecțiune utilizează elemente de geobotanică. Geobotanica la rîndul ei se ocupă cu studiul vegetației prin unitatea sa de bază *asociația de plante*. Asociația de plante reprezintă o grupare de plante cu o anumită compoziție floristică, structură, ecologie, dezvoltată pe un substrat caracteristic, bogat sau nu în anumite minerale utile. Indicatoare sînt doar acele plante ce au proprietatea de a se dezvolta pe roci sau soluri cu caractere proprii, în prezența unor elemente cum ar fi: Ca , Na , Cu , Zn , Fe , Mg , Mn etc. Excedentul sau lipsa elementelor chimice în roci, sol și ape determină reacții diferite din partea plantelor, reflectate în compoziția chimică din unele organe vegetative (rădăcini, tulpini, frunze, semințe).

S-a constatat că pe zăcămintele de minereuri sau pe diverse roci, apele de infiltrație conțin cantități uneori importante de metale, fapt ce se reflectă în aceeași măsură și în creșterea acestui conținut în plantele de pe substratele sus amintite.

Metodele de prospecțiune pentru zăcămintele de minereuri folosesc atît elemente geobotanice, cît și elemente biogeochemice avînd la bază relații directe ce există între compoziția chimică a rocilor, solurilor și apelor de infiltrație sau de suprafață, precum și între compoziția chimică, morfologia unor părți vegetative ale unei specii caracteristice.

Metoda geobotanică include printre altele: — prospectarea zăcămintelor în funcție de plantele indicatoare; — utilizarea ca indicii de prospecțiune schimbările survenite în morfologia externă a plantelor și eventual ritmul sau rata creșterii, în funcție de excesul într-un element sau mai multe elemente; — prospectarea zăcămintelor prin plante ca surse indicatoare indirecte.

Plante indicatoare. Plantele indicatoare se caracterizează prin apartenența exclusivă față de un substrat (roci, soluri), cu o anumită compoziție chimică, neîntîlnindu-se în alte areale sau pe alte substraturi.

După compoziția predominantă a unui element chimic, plantele indicatoare sînt grupate în:

— *plante oligotrofe* întîlnite pe soluri sărace în substanțe minerale. Apar în arealele mlăștinoase, turboase (*Sphagnum* — Mușchiul de turbă) sau pe substraturi acide (*Nardus*);

— *plante nitrofile* se întîlnesc pe substraturi bogate în azotați. Cea mai mare cantitate de săruri de azot provine din descompunerea substanțelor organice moarte, la care se adaugă și azotul amoniacal adus de apele de precipitație. Indicatori de sub-

Tabelul X.6

Corelația dintre plante și substratul mineral

Plante calcifile (substrat calcaros)	Plante calcifuge (substrat silicios)
<i>Asplenium lepidum</i> <i>Salix retusa</i> <i>Gentiana clusii</i>	<i>A. septentrionale</i> <i>Salix herbacea</i> <i>G. kochiana</i>

stanțe azotofile sînt *urzicile*. Abundența și creșterea lor sînt direct influențate de cantitatea de azot; cu cît aceasta este mai ridicată cu atît devin mai abundente și cresc atîngînd dimensiuni de pînă la 2 m înălțime (Olsen, 1925);

— *plante calcifile* (tabelul X.6) cresc numai pe roci calcaroase și pe soluri bogate în calciu (peste 3%);

— *plante calcifuge* indică substraturi silicioase sau de altă natură dar nu calcaroase;

— *plante zincofile* acumulează în organele vegetative cantități apreciabile din acest element. În frunzele de *Thlaspi calaminarium*, oxidul de zinc atinge concentrații maxime de pînă la 13,12%. O altă plantă zincofilă este *Viola calaminaria* (Toporașul).

Alte plante ca *Minuartia verna* și *Armeria elongata* manifestă o evidentă preferință față de solurile bogate în săruri de zinc, pe care cresc din abundență, în timp ce din arealele apropiate lipsesc;

— plantele *magnezofile* se dezvoltă foarte bine pe substraturi bazice, în special pe serpentinite și bazalte, ca și pe formațiuni dolomitice. Caracteristice pentru substraturi serpentinitice sînt în special specii de ferigi cum ar fi: *Asplenium adulterinum*, *A. cuneifolium* subsp. *serpentini*. Dintre plantele superioare antofite (plante cu flori) caracteristice sînt: *Potentilla* sp., *Myosotis* sp., *Serpervivum hirtum* subsp. *adenophorum*, *Sedum serpentini*, *Euphorbia serpentini* și *Armeria maritima* var. *serpentini*.

Pe substraturi dolomitice bogate în magneziu și subordonat în fier, vegetează și sînt indicatoare: *Linum dolomiticum* (Inul dolomitic), *Seseli leucospermum* (Buruiana vîntului), *Kernera alpina* (familia Crucifere), *Armeria juncea* (familia Plumbaginacee) și *Saxifraga cernensis* (familia Saxifragacee);

— plantele *cuprofile* cresc pe soluri bogate în săruri de cupru, atingînd în unele plante concentrații de pînă la 10%. O cuprofilă strictă este și așa-numita *floare de cupru* sau *Haumaniastrum robertii* (familia Labiate), utilizată pe scară largă în prospectarea minereurilor de cupru. O altă plantă cuprofilă este *Becium homblei*, folosită, pentru spectrul coloristic caracteristic, în marcarea zăcămintelor de cupru prin acro-fotograme obținute din helicopter;

— plantele *seleniofile* indică prezența substratului sau a solurilor bogate în seleniu. Indicatori pentru roci bogate în seleniu sînt specii de *Astragalus*, în special *A. pectinatus*;

— plantele *halofile* se dezvoltă pe soluri sărate sau pe substraturi evaporitice de origine marină sau continentală. Din categoria euhalofitelor, rezistente la concentrații mari în săruri minerale, fac parte genuri și specii din familia Chenopodiacee, reprezentate prin: *Salicornia herbacea*, *Suaeda maritima* și *Salsola ruthenica*;

— plantele *ferifile* acumulează fierul pe substraturi acide de tipul gresiilor silicioase și pe argile, un bun indicator fiind *Vaccinium myrtillus*.

Cele mai vizibile indicii de prezență unor elemente chimice la plantele indicatoare sînt marcate prin schimbări în morfologia frunzelor, pierderea proprietății de a înflori la timp, reducerea totală sau parțială a unor organe, uscarea sau căderea prematură a frunzelor, schimbarea culorii etc.

Principalele etape în prospecțiunea biogeochimică. *Observații preliminare.* Prospecțiunea biogeochimică impune în primul rînd cunoașterea structurii geologice, a particularităților geobotanice și a compoziției cenușilor plantelor din arealul ce urmează a fi studiat. Pe lîngă geologia regiunii, corpurile de minereu sînt traversate uneori și de accidente tectonice, zone în care compoziția plantelor poate să fie schimbată vizibil față de restul corpului de minereu.

În afara acestor observații, importante sînt și condițiile hidrogeologice ale regiunii ce influențează direct hrana plantelor prin sărurile minerale, pH-ul, grosimea și structura solului, geneza acestuia — funcție directă a substratului — precum și identificarea asociațiilor de plante predominante în regiunea de studiu.

Colectarea și selectarea probelor biogeochimice. Metoda biogeochimică în prospectarea zăcămintelor de minereuri are la bază o rețea de profile cu prelevare de probe din frunze, tulpini sau rădăcini dintr-o anumită specie sau mai multe specii (cu vîrste apropiate), a căror cenușă indică conținutul elementelor ce formează minereul. Rezultatele se trec pe hartă sub formă de linii cu conținuturi egale de metale (izoconcentrate). Sectoarele cu conținut anormal în metale se verifică prin lucrări speciale de explorare (S. M. Tkalic, 1961).

Indiferent de metoda folosită, geobotanică sau biogeochimică, rezultatele sînt apropiate și este de dorit să fie utilizate împreună.

Teoretic se consideră că probele geochimice pot fi colectate din orice tipuri de plante. Utile sînt plantele ierboase, arbuștii și chiar arborii.

Pentru obținerea unor rezultate de comparație, probele se iau din aceleași specii sau în orice caz din specii apropiate, ce provin din aceeași familie sau din familii înrudite (K. Rankama, 1954).

S-a constatat că cantitățile de cenușă în plante și conținutul de metale în cenușă nu sînt proporționale.

Specia de plante aleasă pentru probare trebuie să aibă un larg areal de răspîndire în cadrul regiunii studiate. Ca probă se poate alege orice organ al plantei (rădăcini, tulpini, ramuri sau frunze). În funcție de structura anatomică și caracteristicile fiziologice, diferitele părți vegetative ale plantelor prezintă în cenușă cantități inegale de metale (tabelul X.7).

Tabelul X.7

Conținutul de metale în cîteva părți vegetative de *Betula* și *Populus*

Tipul de plante	Părți probate	Cenușa, %	Conținuturi de metal în cenușă, %		
			Fe	Mn	Ti
Mesteacăn (<i>Betula</i>)	frunze	2,9	0,10	0,10	0,02
	lemn	0,3	0,20	0,0	0,06
Plop (<i>Populus</i>)	frunze	2,55	0,5	2,1	0,03
	scoarță	1,28	0,0	2,00	0,0
	rădăcini	1,09	0,10	1,00	0,05

Pentru a se obține date comparative ale chimismului cenușii este necesar ca probele să provină din aceleași organe ale plantei sau ale plantelor. După S. Tissen (1964) elementele chimice se concentrează mai ales în anumite organe ale plantelor. De exemplu: Al — în rădăcini, Mn și Fe — în frunze, Mo — în rădăcini, Ba — în tulpini etc. S-a observat că la *Viola calaminaria* (Viorea) Zn se concentrează în frunze, în timp ce același element se întilnește în rădăcina de *Thlaspi arvense* (Pungulița).

Cele mai sugestive probe cu chimism ridicat sînt frunzele și scoarța, deoarece sînt organe în care se concentrează hrana cu elemente minerale. În schimb, elementele din rădăcină nu sînt concludente și nici probele din acest organ vegetativ.

S-a observat că conținutul metalelor în cenușa plantelor depinde de adîncimea corpurilor de minereu. Cu cît grosimea solului este mai mică, cu atît concentrația în metal din plante este mai mare, funcție directă a adîncimii de penetrare a rădăcinilor prin sol pînă la corpul de minereu (se cunosc cazuri de penetrare a rădăcinilor de la 10 m pînă la peste 25 de m).

Alegerea plantelor de probare trebuie să se facă în funcție de posibilitatea rădăcinilor acestora de a pătrunde în adîncime, în sol. Rezultate concludente se obțin numai atunci cînd colectarea probelor se face pe timp uscat sau în timpul ploilor mici, de scurtă durată.

După conținutul în cenușă, anomaliile biogeochimice utilizează microelemente din aureola de dispersie a zăcămintului, ce urmează a fi identificate.

Dacă se analizează cenușa plantelor de pe zăcămintele de nichel, cobalt, și crom, se poate determina în ea conținutul în Ni, Co și Cr. sau pe zăcămintele polimetale conținutul în Cu, Zn și Pb, în timp ce de pe cele de uraniu conținutul în U.

La zăcămintele de sulfuri (pirită, calcoprită etc.) aureola de dispersie este bogată în Fe, iar conținutul în Fe și Cu din plante crește. De aceea, conținutul ridicat în Fe din cenușa plantelor este un indiciu al prezenței în apropiere a unui zăcămint (fig. X.68).

Rolul de indicator pentru Na, Fe, Ti s-a constatat și în cenușa de *Pinus siberica* dezvoltat pe un substrat al unui zăcămint de pegmatite cu metale rare (fig. X.69).

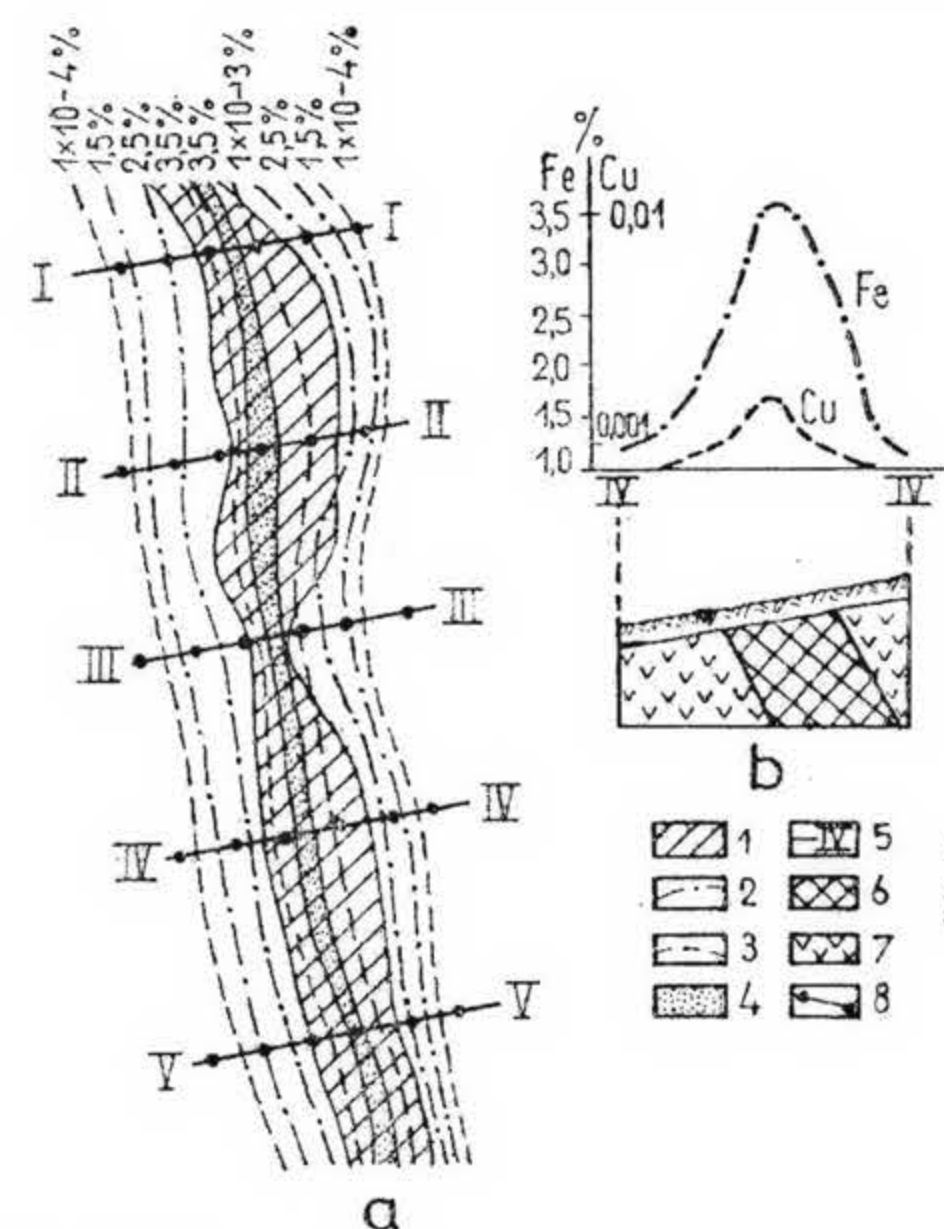


Fig. X.68. Anomalie biogeochimică la un zăcămint de pirită cuprifera din Ural (după A. Veselov):

a—zăcămintul în plan; b—secțiune după linia IV—IV; 1—conturul zăcămintului; 2—izolinia conținutului în Fe din cenușa plantelor; 3—izolinia conținutului de Cu din cenușa plantelor; 4—maxima anomaliei biogeochimice; 5—profilul (aliniamentul) de prospectare; 6—corpul de minereu; 7—roci înconjurătoare; 8—probe din rețeaua de prospectare

Pentru determinarea intensității anomaliilor biogeochimice se impune probarea și a unor exemplare (din aceeași specie) ce cresc în afara zăcămintului, pentru a pune în evidență fondul biogeochimic natural din areal.

Colectarea probelor trebuie să se facă de pe organe ale plantelor ce cresc lângă punctele rețelei ce urmează a fi prospectată. Astfel, pentru probe, plantele ierbacee se colectează integral, dar fără rădăcini. Dacă au dimensiuni prea mari se colectează numai probe din vîrf sau frunze.

Frunzele se culeg din orice regiune a plantei, dar nu de la o înălțime mai mică de 30 cm față de sol.

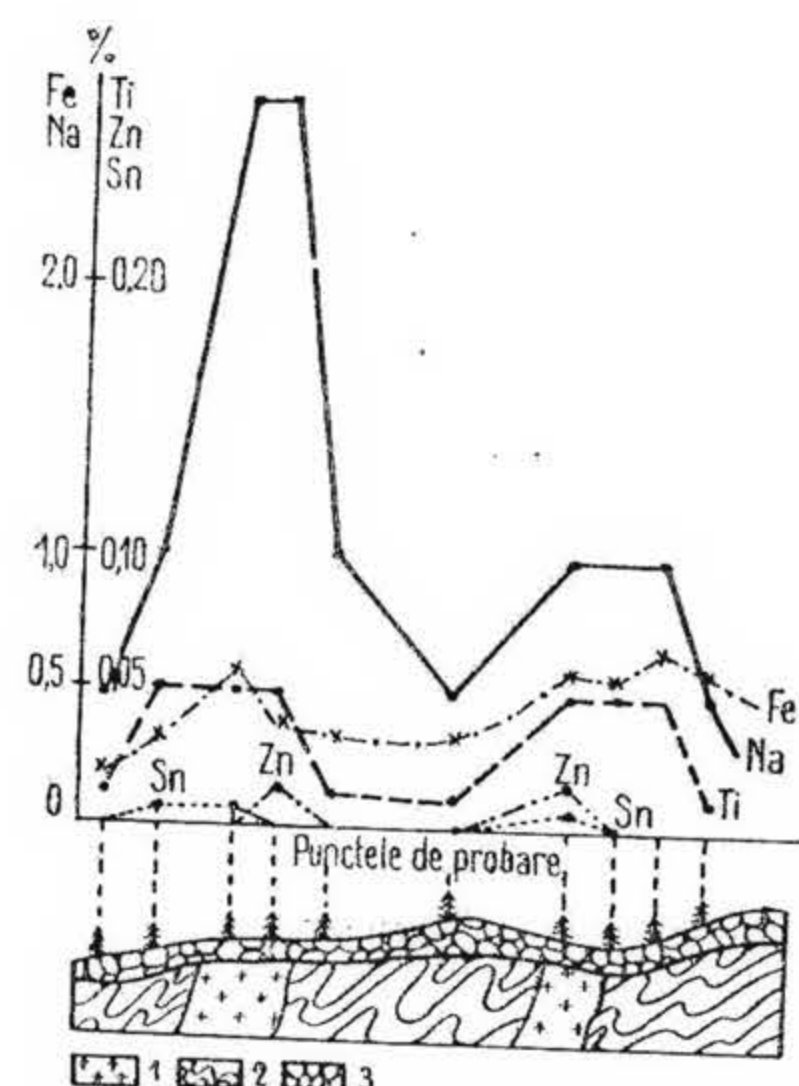


Fig. X.69. Diagramele conținutului de Na, Fe, Ti, Sn și Zn în cenușa de *Pinus siberica* dezvoltat pe un substrat de pegmatite cu conținut în metale rare:

1—pegmatite; 2—sisturi cristaline; 3—formațiuni deluviale.

Pentru prospectarea minereurilor polimetalice, se colectează probe biogeochimice din ramurile de mestecăn (*Betula*) cu grosimi de 3—6 mm și avînd lungimea de 10—20 cm (I. E. Wartington).

Greutatea unei probe trebuie să fie de 40—50 g (în special în cazul frunzelor).

Fișa probelor biogeochimice are următorul conținut: 1. Descrierea zăcămintului sau a regiunii...; 2. Data...; 3. Aliniamentul de prospectare nr... punctul nr. ...; 4. Caracterul probei de material vegetal colectat.

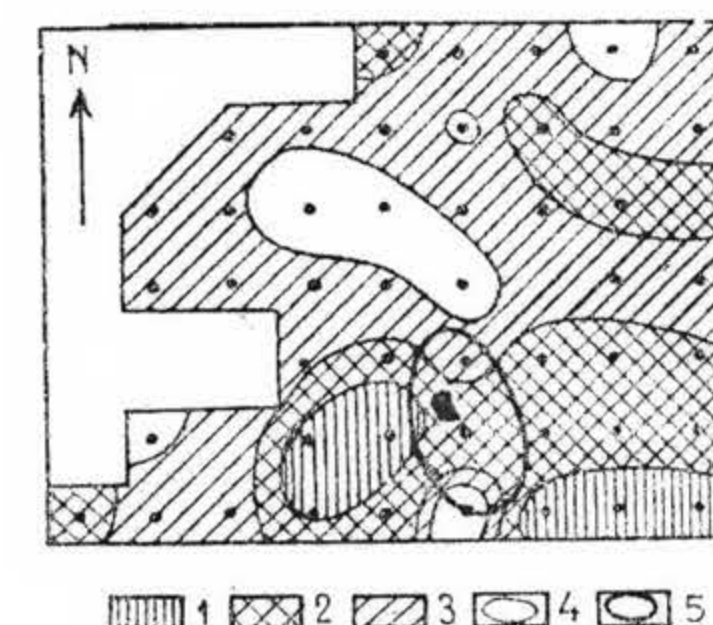


Fig. X.70. Rețea pătrată de prospectare; analize colorimetrice ale cenușii de *Listris pyrenostichia*, în $10^{-3}\%$:

— 200 și mai mult; 2—141—199; 3—100—140; 4—0—99; 5—limitele zonelor mineralizate.

Registrul probelor cuprinde: 1. Probarea zăcămintului... executată de la data de... pînă la data de...; 2. Denumirea speciei de plantă aleasă; 3. Ce părți din plantă sau colectat...; 4. Numele și prenumele persoanei care a colectat proba; 5. Analiza cenușii plantelor.

Prelevarea probelor de material vegetal se execută pe aliniamente separate de prospectare, pe rețea dreptunghiulară sau rețea pătrată (fig. X.70). Lungimea aliniamentelor de traversare trebuie să aibă 100 m, nu numai în zona minereului, ci și în rocile înconjurătoare.

Rețeau dreptunghiulară se utilizează la prospectarea zăcămintelor de formă tabulară, iar rețeaua pătrată la prospectarea zăcămintelor cu contururi izometrice. Desimea probelor depinde de complexitatea regiunii prospectate, de varietatea rocilor, de forma și de dimensiunile presupuse ale corpurilor de minereu (tabelul X.8) și de plantele alese ca indicatoare.

Desimea rețelei de prospectare prin metoda biogeochimică variază de la 15×15 m la 200×200 m și de la 50×100 m pînă la 200×40 m.

După delimitarea și fixarea rețelei de prospectare, se întocmește planul la scara 1:1 000 sau 1:5 000, pe care se trec aliniamentele (profilele) de prospectare și punctele (probele) fixate pe rețea.

Prelucrarea probelor. Prima operație de prelucrare este purificarea probelor de praf care, prin impurități, poate denatura rezultatul analizelor chimice ale cenușii obținute din plante.

După această operație probele se usucă și se macerează sub forma unui detritus vegetal, pînă cînd ajunge un fel de pulbere măruntă.

Arderea probelor se efectuează în cuptoare speciale cu burduf, la temperaturi de 450—500°C, pînă la obținerea cenușii uniforme. Pentru analize diverse este necesară o cantitate de 50—100 mg cenușă și numai 5—10 mg pentru analize spectrale.

Analizele calitative ale cenușii se execută prin metoda microchimică sau prin picurare, precum și prin metode spectrale semicalitative, colorimetrice și polarografice.

Lucrări de birou și întocmirea raportului. În faza de birou se execută planul schematic cu punctele de colectare a probelor biogeochimice, după care se întocmesc hărțile și se completează prin grafice.

Tabelul X.8

Rețeaua de prospecțiune în funcție de dimensiunile corpului de minereu investigat

Forma probabilă a corpurilor de minereu	Dimensiunile probabile în plan a corpurilor de minereu	Rețeaua de prospecțiune, [m]
Mai mult sau mai puțin izometrică	Relativ mari pînă la cîteva hectare	Pătrată: 200 × 200
Izometrică dar cu contur complex	Relativ mari	Pătrată: 100 × 100
Izometrică	Mici	Pătrată: 50 × 50
Alungită	Pe direcție sute de metri, lățimea aflorimentului peste 20 m	Dreptunghiulară: 200 × 50
Alungită	Pe direcție sute de metri, lățimea aflorimentului între 10—20 m	Dreptunghiulară: 100 × 25
Alungită	Pe direcție pînă la 100 m, lățimea aflorimentului sub 10 m	Dreptunghiulară: 100 × 10 sau 50 × 10

Planul schematic se desenează pe calc la scara 1: 1000 sau 1: 5000. Cunoșcînd contururile de fond ale metalelor din cenușa plantelor, se pun în evidență pe hărți anomaliile biogeochimice cu valorile lor maxime. Pentru o claritate mai mare, hărțile biogeochimice se completează cu diagrame speciale (secțiuni sau profile cu conținutul în metale din cenușa plantelor (fig. X.71).

Pe lângă materialele enumerate, raportul trebuie să cuprindă considerații geobotanice, legătura dintre învelișul vegetal și substratul geologic, metodologia aplicată, analizele probelor cu interpretarea anomaliilor, concluziile și recomandările finale. La raport se anexează: harta geologică a regiunii cercetate, planul cu poziția probelor biogeochimice prelevate, secțiunile biogeochimice, schițele cu descrierea lucrărilor miniere executate pentru verificarea anomaliilor biogeochimice.

Interpretarea anomaliilor biogeochimice. O anomalie biogeochimică trebuie să indice conținutul ridicat în cenușa plantelor pentru anumite elemente din minereu.

După gradul de intensitate, anomaliile se împart în:

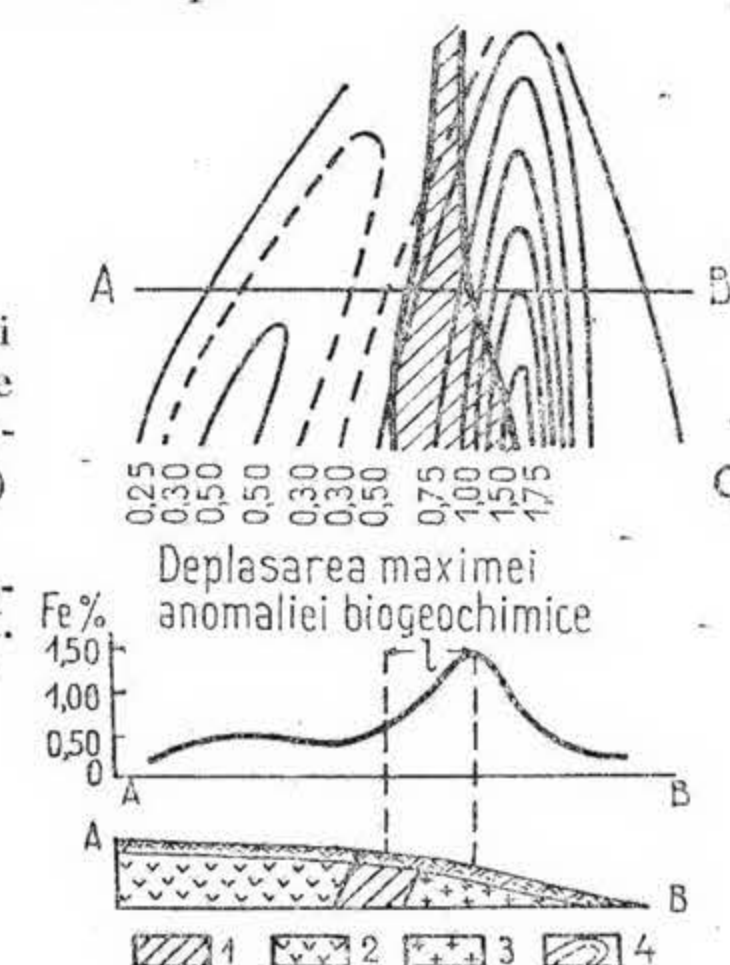
— *anomalii intense*, cu conținut de metale în cenușa plantelor de zeci sau sute de ori mai mare decît conținutul fondului mineralogic;

— *anomalii slabe*, în limitele cărora conținutul de metale în cenușa plantelor este doar de cîteva ori mai mare decît al fondului mineralogic.

S-a observat că anomaliile biogeochimice sînt evidențiate atunci cînd corpurile de minereu sînt plasate la adîncimi mici, sub 25 m, sau cînd există un conținut ridicat de metale în minereuri, precum și atunci cînd mineralele din minereu trec ușor în minerale secundare sau sînt mai puțin solubile în apă.

Fig. X.71. Harta biogeochimică a zăcămintului de fier de la Nikolsk (a) completată cu secțiune geologică după linia A—B și diagrama conținutului în fier din cenușa de mestecăn (*Betula*) (b):

1 — corpul de minereu; 2 — skarn; 3 — monzonite; 4 — izoconcentrate de Fe în cenușa de *Betula*, în % (după S. M. Tkalic).



Anomaliile biogeochimice slabe sînt evidențiate cînd:

— corpul de minereu, deși este plasat la adîncime mică (25 m), prezintă un conținut scăzut în metale;

— condițiile climatice nu favorizează procesele de alterare chimică sau organică;

— rocile au permeabilitate mare, formînd în jurul zăcămintelor aureole de dispersie a sărurilor cu concentrații mici de metale. În funcție de condițiile hidrologice și hidrogeologice, plantele pot să prezinte în cenușa lor concentrații mari în anumite metale, cu toate că zăcămintele sînt sărace.

S-a observat că, la un zăcămint de crom, conținutul în Cr din cenușa plantelor variază de la 0,08 la 0,20%, acolo unde minereul nu depășește adîncimea de 10—15 m, pe cînd același conținut scade între 0,01—0,05% la adîncimea de peste 15 m.

Formarea unor astfel de anomalii este legată de aureole primare sau secundare de dispersie ale zăcămintului. Deoarece conținutul de metale în aureole se micșorează pe măsura îndepărtării de corpul de minereu, și conținutul de metal în plantele ale căror rădăcini pătrund în aceste aureole depinde de adîncimea corpului de minereu. Uneori se constată anomalii biogeochimice slabe, legate de minereuri bogate situate aproape de suprafață, așa cum este cazul zăcămintului de titanomagnetit de lângă lacul Baikal (fig. X.72). Cu toate că în acest zăcămint conținutul de Fe și Ti din cenușa plantelor este mai mare decît conținutul fondului, anomalia biogeochimică este totuși mai slabă (S. M. Tkalic). Faptul se datorește mineralelor constituențe ale zăcămintului, puțin propice transformărilor în zona de hipergeneză.

De multe ori, mărimile anomaliilor biogeochimice ale minereurilor se plasează la oarecare distanță de corpurile de minereu. Acest proces se explică prin conținutul neuniform în metale din zona aureolelor prin dispersii mecanice sau hidraulice.

S-a observat că anomaliile biogeochimice precizează mai bine poziția corpurilor de minereu decât anomaliile litochimice care dau limite destul de deplasate față de arealul corpului de minereu. Suprapunerea între anomalii se obține când probele metalometrice sînt prelevate din humusul solului (fig. X.73).

Utilizarea metodei biogeochimice la prospectarea zăcămintelor de minereuri
Metoda biogeochimică se utilizează în prospectiunea minereurilor atunci când metodele litogeochimice nu dau rezultate pozitive. Acest lucru se constată atunci cînd:

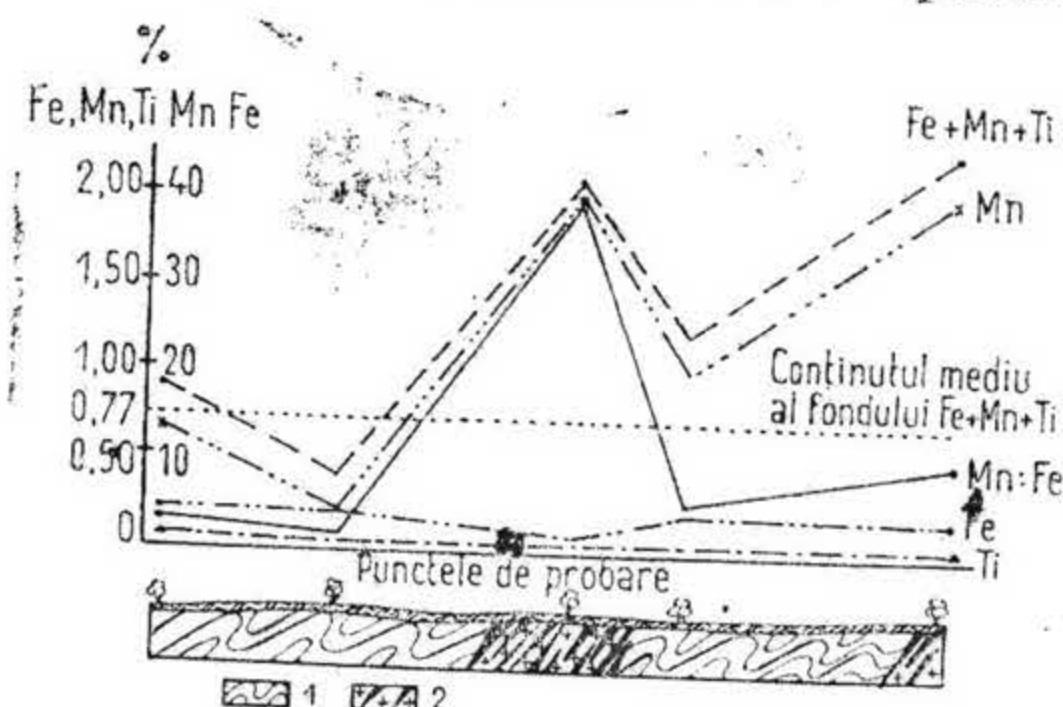


Fig. X.72. Conținutul de Fe, Mn și Ti în cenușa mestecănușului (*Betula la verrucosa*) într-un zăcămint de titanomagnetit:

1 — roci metamorfice; 2 — titanomagnetit în gabouri.

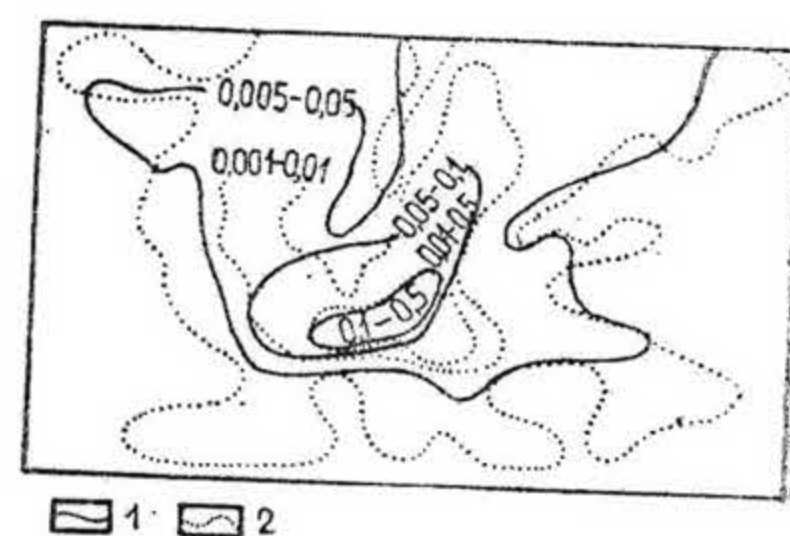


Fig. X.73. Suprapunerea anomaliilor geochimice determinate după analizele solului și cenușa plantelor la un zăcămint din Altai cu izoliniile conținutului în plumb, în %:

1 — în sol; 2 — în cenușa plantelor.

— corpurile de minereu se plasează la adîncime mică și nu au la suprafață aureole de dispersie;

— cînd corpurile de minereu și rocile înconjurătoare sînt acoperite de depozite aluvionare sau cînd în arealul zăcămintului apar podzoluri.

Metoda biogeochimică poate fi folosită și la descifrarea anomaliilor geofizice. Prin această metodă a fost conturat un zăcămint din Munții Ural, după conținutul de Cu și Fe din cenușa plantelor. Corpul de minereu se afla sub depozite cu grosimi de 6 pînă la 10 m (A. A. Veselov). Într-o altă regiune, din Finlanda, s-a demonstrat că la grosimea depunerilor mlăștinoase de 3—7 m conținutul de molibden în frunzele de *Ledum palustre* (Șoaldină) este influențat direct de distribuția Mo în roca din culcuș.

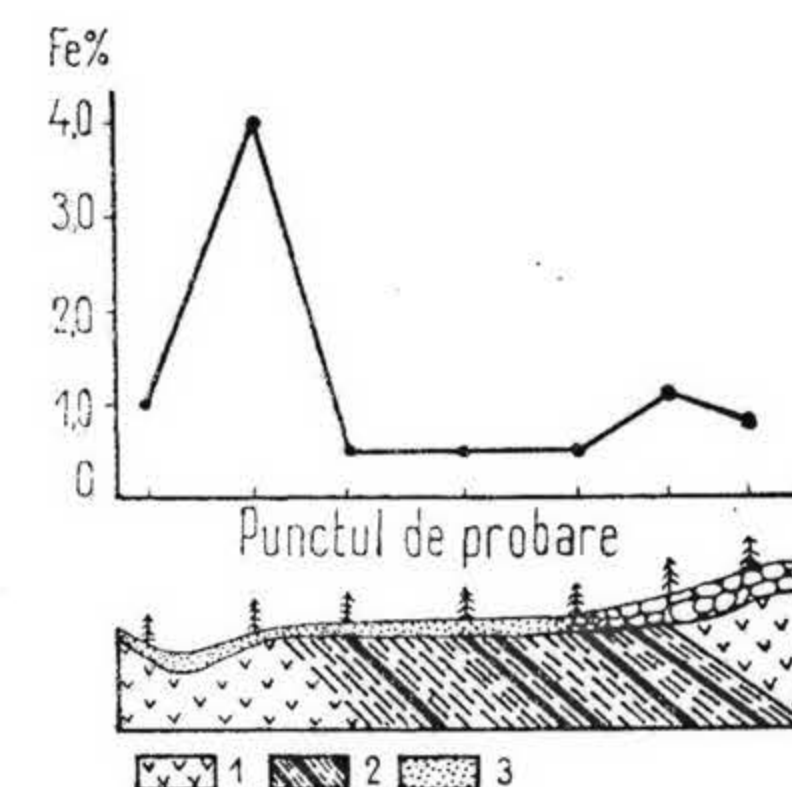
Se apreciază că adîncimea de utilizare a metodei biogeochimice cu rezultate pozitive în descoperirea corpurilor de minereu este de 30 la 50 m (A. P. Vinogradov).

Cele mai favorabile obiective pentru prospectiunile biogeochimice sînt sulfurile și alte minereuri. Prin procese de oxidare se obțin produse solubile de alterare accesibile, sub formă de hrană, pentru plante. Aceeași metodă poate fi extinsă și în prospectarea zăcămintelor nemetalifere și chiar în cartările geologice. După conținutul în Fe din cenușa cetinei de brad (*Abies sibirica*) s-au putut stabili limitele cartografice dintre formațiunile sedimentare de vîrstă carboniferă și corpurile eruptive diabazice, depozitele fiind acoperite și ascunse sub aluviuni (fig. X.74).

S-a constatat că nu toate zăcămintele dau anomalii concludente. După Vinogradov, îmbogățirea plantelor și solurilor cu anumite elemente chimice depinde de multe cauze și înainte de toate de faptul dacă plantele cresc direct pe minereuri sau în apropierea lor. Experiența însă a arătat că plantele se îmbogățesc în metale de sute de ori în limitele cîmpurilor de minereu. Dar îmbogățirea chiar numai de 10 ori indică o mineralizare bogată. În acest caz are importanță schimbul de apă în plante, prezența rădăcinilor adînci, în special la plantele care trăiesc mai mulți ani. Prin

Fig. X.74. Diagrama conținutului în Fe din cenușa de *Abies sibirica* în zăcămintul de la Kokuisk:

1 — eruptiv; 2 — formațiuni sedimentare de vîrstă carboniferă; 3 — aluviuni.



metoda biogeochimică este posibilă determinarea mineralizației pînă la adîncimea maximă de 100 m. Această metodă poate fi utilizată nu numai pentru prospectarea elementelor chimice ca Ni, Co, Zn, Pb, Cu, Sn, Ag, Cr, Mn, Fe, Au, W, Mo, U, V, ci și pentru alte elemente cum ar fi Se, Be, Sr, Ba.

În ultimul timp, numeroasele regiuni prospectate prin metoda biogeochimică au lumie reliefează utilitatea practică a acestei metode.

**XI. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR
DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE**

Prof. dr. decent, ing. ARON POPA

1. OBIECTIVELE ȘI CLASIFICAREA EXPLORĂRII, ÎNTOCMIREA PROIECTELOR LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

1.1. OBIECTIVELE EXPLORĂRII

După ce zăcămintul de substanțe minerale utile a fost descoperit prin lucrările de prospecțiune, se trece la o etapă superioară a procesului de cunoaștere a acestuia care este *explorarea*.

Explorarea cuprinde totalitatea lucrărilor necesare pentru a contura rezervele industriale de substanțe minerale utile și preciza condițiile de exploatabilitate a zăcămintului.

Explorarea are ca obiective:

- stabilirea rezervelor de substanțe minerale utile, atât cantitativ cât și calitativ.

În acest scop lucrările de explorare trebuie să pună în evidență forma zăcămintului, extinderea sa pe orizontală și pe verticală, direcția și înclinarea lui, variațiile în continuitate, variația conținutului și componentilor utili, caracterul rocilor înconjurătoare, tectonica zăcămintului, hidrogeologia, caracterul mineralizației etc.;

- stabilirea datelor privind utilitatea zăcămintului în condițiile unei exploatare raționale, precum și posibilitatea transformării substanței minerale utile în produs finit;

- să furnizeze toate datele necesare proiectării unei întreprinderi miniere.

1.2. CLASIFICAREA LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

Lucrările de explorare pot fi clasificate după scopul și precizia lor, după metodele de lucru și după natura substanțelor minerale căutate (tabelul XI.1).

a. După **scopul și precizia lucrărilor**, explorarea se împarte în etape: explorarea preliminară, explorarea amănunțită sau de detaliu și explorarea de pregătire sau de extindere.

Explorarea preliminară. Este prima etapă a explorării și are ca obiectiv descifrarea în linii generale a formei zăcămintului și determinarea aproximativă a rezervelor acestuia.

Ea constă din lucrări mai puțin voluminoase, care se amplacează pe toată extinderea zăcămintului, urmărind să determine cu aproximație:

- forma și extinderea zonei mineralizate;
- adâncimea la care se găsește zăcămintul față de suprafață;
- caracteristicile geometrice ale zăcămintului;

- natura mineralizației și variația acesteia pe direcție și înclinare;
 - caracteristicile rocilor înconjurătoare.
- Pe baza acestor elemente se face o evaluare economică a zăcămintului.

Tabelul XI.1

Clasificarea lucrărilor de explorare

Criterii de clasificare	Felul explorării
a. După scopul lucrărilor și gradul de aprofundare	Explorare preliminară Explorare amănunțită Explorare de pregătire și în extindere
b. După metodele de lucru	Explorare prin lucrări miniere Explorare prin foraje Explorare combinată
c. După natura substanțelor utile	Explorarea zăcămintelor de minereuri Explorarea zăcămintelor de cărbuni Explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere și roci utile

Cu această evaluare se încheie etapa explorării preliminare și se întocmește proiectul explorării de detaliu.

Metodologia de explorare preliminară trebuie adaptată la caracteristicile zăcămintului căutat, care sînt foarte diferite. Totuși se pot deosebi două metode generale care pot fi aplicate la varietatea mare a condițiilor de zăcămint, și anume:

- metoda directă, care cuprinde lucrările sistematice ce constau din puncte de interceptare izolate sau rețele uniforme, ce pot conduce la rezolvarea detaliilor fie direct, fie completate cu puncte secundare de interceptare;

- metoda indirectă, care constă în formularea unei ipoteze privind extinderea zăcămintului bazată pe argumente geologice și întocmirea proiectului de explorare.

În realitate, apar însă cazuri cînd nu se poate formula o ipoteză asupra zăcămintului sau cînd argumentele sînt contradictorii. De aici necesitatea de a separa explorarea preliminară în două subfaze:

- *explorare preliminară pregătitoare*, care cuprinde: cartări, lucrări miniere ușoare de suprafață, scurte galerii, lucrări geofizice și geochimice și, de la caz la caz, unele lucrări de referință;

- *explorarea preliminară principală*, subfază în care se determină principalii parametri pentru studiul tehnico-economic de etapă. Se promovează o mare parte din rezervele probabile sau de categoria C și se conturează părțile accesibile ale zăcămintului, precum și caracteristicile acestuia (hidrogeologia, permeabilitatea etc.). Această subfază se caracterizează printr-un volum mare de lucrări și este de lungă durată.

Explorarea amănunțită (de detalia). Această etapă aduce o precizie mai mare în cunoașterea elementelor caracteristice ale zăcămintului, pe baza cărora se stabilesc

rezervele cantitativ și calitativ și repartizarea acestora pe sorturi și sectoare, și se stabilesc caracteristicile tehnologice ale substanței minerale utile.

În funcție de gradul de uniformitate al mineralizației și de gradul de regularitate al zăcămintului, explorarea de detaliu poate fi făcută într-o singură fază sau în două faze — una de interceptare prin lucrări transversale și una de deschidere și urmărire continuă.

Explorarea de detaliu nu încetează odată cu începutul exploatarei ci continuă pînă la determinarea rezervelor pe panouri de exploatare.

Explorarea de pregătire și în extindere. Se execută, de obicei, în timpul exploatarei zăcămintului. În această etapă se face și pregătirea zăcămintului pentru exploatare. Explorarea de pregătire are rosturi diferite, după tipul zăcămintelor și după nevoile exploatarei. În unele cazuri este o pregătire a exploatarei sistematice în zone încă neexploatate sau în adîncime, dînd ultimele precizări despre structura zăcămintului, pentru exploatarea rațională a acestuia. În alte cazuri, la zăcămintele în exploatare, ea reprezintă extinderea explorării în zonele vecine și pregătirea pentru exploatarea propriu-zisă.

Această succesiune a explorării pe etape nu se aplică strict în practică. În timpul explorării, aceste etape se întrepătrund, se pot executa concomitent sau una din ele poate chiar lipsi, cînd rezultatele etapei precedente conduc la concluzii favorabile, fără a mai fi nevoie de alte lucrări.

b. După **metodele de lucru**, explorarea se împarte, ținînd seamă de felul lucrărilor, în: explorarea prin lucrări miniere, explorarea prin foraje și explorarea prin lucrări combinate (miniere și foraje).

Explorarea prin lucrări miniere se realizează prin diferite lucrări cum sînt șanțurile, tranșeele, puțurile, galeriile, nișele, jompurile, planele înclinate, suitorile și coborîtorile.

Metoda de explorare prin lucrări miniere se aplică în cazul zăcămintelor cu înclinare mare care afloră și, în general, al zăcămintelor situate la adîncime mică față de suprafață.

Ea prezintă mari avantaje, fiindcă asigură cea mai bună cunoaștere a unui zăcămint.

Explorarea prin foraje. Lucrările de foraj se aplică pe scară mare în cercetarea zăcămintelor de diferite tipuri. De regulă se aplică la explorarea zăcămintelor de adîncime și în toate cazurile cînd nu este posibilă cercetarea prin lucrări miniere, sau cînd acestea sînt prea scumpe. Amplasarea lorajelor la suprafață se face pe baza indicațiilor obținute prin lucrările de prospecțiune. Forajele prezintă avantajul că se execută mai rapid și sînt mai ieftine decît lucrările miniere.

Explorarea combinată. Este cea mai folosită și cea mai indicată, în special în faza explorării de detaliu.

Lucrările miniere și de foraj pot fi executate concomitent sau succesiv.

c. După **natura substanțelor minerale utile** se disting: explorarea zăcămintelor de minereuri (fier, mangan, zăcămintele polimetale etc.), explorarea zăcămintelor de cărbune, explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere.

Natura diferită a zăcămintelor și a condițiilor în care se găsesc localizate în scoarță impune anumite lucrări și o metodologie specifică fiecărui tip sau grupă de zăcămintele.

Pe baza rezultatelor obținute în activitatea de explorare, ținînd seama de particularități ce caracterizează un tip sau o grupă de zăcămintele, se poate alege metoda de explorare cea mai indicată.

Explorarea zăcămintelor de minereuri. Minereurile, în funcție de factorii naturali care determină metodologia lucrărilor de explorare, pot fi împărțite convențional în trei grupe:

— grupa I, care cuprinde zăcămintele mari și foarte mari, cu formă constantă, fără deranjamente și cu repartiția uniformă a componentelor utili;

— grupa a II-a careia îi aparțin zăcămintele cu dimensiuni mari și mijlocii, cu grosimi variabile și mineralizare continuă sau discontinuă;

— grupa a III-a cuprinde zăcămintele cu structură și formă complicată, cu mineralizație discontinuă și cu o repartiție foarte variată a componentelor utili.

Explorarea zăcămintelor de cărbuni. Zăcămintele de cărbuni apar, în general, sub formă de strate, uneori cutate sau faliolate; în consecință și explorarea lor diferă de a celorlalte zăcămintele de substanțe minerale utile, care apar sub alte forme (lentile, stockuri, filoane etc.)

Explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere și rocii utile. Substanțele minerale nemetalifere și rocile utile se caracterizează prin corpuri de formă neregulată și extindere variabilă. Explorarea lor se face prin lucrări miniere și foraje.

1.3. ÎNTOCMIREA PROIECTELOR LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

Proiectul lucrărilor de explorare trebuie să cuprindă în esență:

- baza geologică, geografică și economică existentă;
- tema lucrărilor de explorare și problemele care au rezultat din verificarea ipotezelor emise pe baza datelor geologice cunoscute anterior;
- soluțiile existente și cele estimate pentru rezolvarea problemelor explorării;
- planificarea executării lucrărilor de explorare.

Pentru lucrările de explorare se pot întocmi: proiecte generale, proiecte de etapă și proiecte anuale.

Proiectul general de explorare cuprinde întregul program de lucrări de explorare pînă la studiul tehnico-economic de etapă, sau pînă la darea în exploatare a zăcămintului.

Proiectul de etapă pregătitoare cuprinde volumul de lucrări de explorare necesar pentru clarificarea perspectivei unui perimetru și cunoașterea în linii generale a structurii și extinderii zăcămintului.

Proiectul anual cuprinde numai lucrările de explorare ce pot fi executate în cuprinsul unui an. Lucrările planificate anual sînt defalcate din cele care reprezintă o etapă de explorare.

Proiectele se întocmesc pentru fiecare sector de explorare și conțin devizele necesare decontării lucrărilor.

Tema proiectului de explorare cuprinde, în general, sarcina rezolvării unei anumite probleme de explorare, condițiile de lucru și devizele lucrărilor.

Scopul urmărit prin proiectele de explorare este de a găsi soluțiile optime de execuție a lucrărilor pentru cercetarea unui zăcămint și o dirijare judicioasă a acestora pentru obținerea celor mai bune rezultate. În acest sens ele trebuie să cuprindă, pentru fiecare lucrare în parte, *volumul fizic* proiectat, exprimat în metri liniari reali și convenționali, și *volumul valoric*, exprimat în lei deviz și valori comparabile.

În ceea ce privește fondurile din care se vor finanța lucrările de explorare, acestea pot fi fonduri de investiții sau de producție.

Ca formă de întocmire, proiectele constau din două părți: partea *geologică* și partea de *deviz*.

Rezultatele obținute într-o anumită etapă de lucrări sînt cuprinse în *rapoarte* care pot fi: *anuale*, cu caracter informativ, și *rapoarte de sinteză*, care se întocmesc

de obicei pentru o perioadă de câțiva ani.

Rapoartele de sinteză conțin următoarea schemă, formată din patru părți:

Partea I-ii — care se referă la situația geologică, cuprinde: date generale asupra regiunii în care este situat zăcămintul; geologia regiunii, geologia zăcămintului, caracteristicile calitative și tehnologice ale substanței minerale utile, condițiile hidrogeologice ale zăcămintului, condițiile tehnico-miniere de exploatare și concluzii.

Partea a II-a — se referă la calculul rezervelor, cuprinzând: metodologia de probare, determinarea parametrilor și calculul rezervelor, concluzii.

Partea a III-a — cuprinde anexele la text, situația topografică etc.

Partea a IV-a — cuprinde tabelele și materialul grafic referitoare la situația geologică, hidrogeologică, calculul rezervelor etc.

2. EXPLORAREA PRIN LUCRĂRI MINIERE

2.1. CRITERII DE PROIECTARE A LUCRĂRILOR MINIERE DE EXPLORARE

Lucrările miniere dau posibilitatea cercetării minuțioase a constituției și structurii complicate, obișnuite în zăcămintele de minereuri și pot fi readaptate în vederea extinderii cercetării zăcămintului explorat și pus în exploatare. În mare parte, lucrările miniere de explorare vor putea deservi și viitoarea exploatare. În acest scop, ele trebuie concepute și executate pe baza unui proiect, în care să fie studiat ansamblul lucrărilor geologice în raport cu zăcămintul și condițiile de exploatare. În proiect trebuie să se efectueze un calcul tehnico-economic, pe baza căruia să se tragă concluzia dacă acestea pot fi de la început construite pentru o durată mai lungă sau dacă este mai economic să fie abandonate și apoi reconstruite.

Condițiile care trebuie îndeplinite de lucrările miniere de explorare sînt următoarele:

- să se execute suficient de rapid pentru a nu lăsa investiții mari neproductive timp îndelungat;
- să fie efectuate pe baza unei documentații în care să se prevadă secțiunea, punctul de pornire, direcția, panta, canalul și alte date privind: săparea, transportul, aerajul etc., și specificarea privind utilizarea și durata;
- să poată fi readaptate pe parcurs;
- să fie evitată, pe cît posibil, plasarea lor în zone cu roci friabile sau care se dezagregă ușor, deoarece în afară de dificultățile în timpul lucrului, întreținerea lor este mai grea;
- să se țină seama de posibilitatea utilizării lor în viitoarea exploatare și de durata lor. Sub acest aspect se disting următoarele categorii de lucrări miniere:

- a) *Lucrări de durată lungă, care necesită întreținere*, categorie în care intră:
 - lucrări de acces principal la zăcămint, de aeraj principal, de evacuare a apelor; lucrări de amenajare principale (galerii de pătrundere sau de legătură, de lung metraj); puțuri de transport și de aeraj; amenajări speciale (bazine de colectare a apelor, remize, depozite de explozivi etc.);
 - lucrări de trasaj, de deschidere și de legătură (galerii transversale și galerii direcționale, suitori, rostogoluri).
- b) *Lucrări de durată lungă care nu necesită întreținere*: galerii transversale; galerii direcționale; suitori și rostogoluri.

c) *Lucrări de durată problematică*: galerii de cercetare; suitori de cercetare.

d) *Lucrări de durată mică, cu scop limitat*: șanțuri, puțuri de mină, breșe de cercetare, jompuri de cercetare, camere pentru instalația de foraj etc.

În proiectele generale trebuie justificate lucrările miniere, în special cele de lungă durată, de lung metraj sau cu costuri ridicate. Se vor mai prezenta și variante de lucrări miniere mai complete, care ar putea să deservească în continuare explorarea de detaliu sau chiar exploatarea.

Este recomandabil ca orice lucrare minieră proiectată să fie încadrată de la început în clasele de mai sus și să fie dimensionată și tratată în mod corespunzător.

În mod avantajos se pot explora, prin lucrări miniere, zăcămintele puțin înclinate de mică adîncime și zăcămintele de înclinare mare, dezvoltate în terenuri cu relief pronunțat deasupra nivelului văilor.

În general, ținînd seama de aceste condiții de zăcămint, în proiectarea lucrărilor de explorare se aplică:

- explorarea prin puțuri de mină amplasate pe aliniamente (linii) de explorare sau în rețea, pentru zăcămintele orizontale și puțin înclinate;
- explorarea prin lucrări de suprafață (șanțuri, puțuri de mină) și apoi în adîncime prin puțuri de explorare, galerii, suitori, coboritori și plane înclinate pentru zăcămintele cu înclinare mare.

Metodologia explorării prin lucrări miniere are la bază următoarele operații:

- alegerea tipurilor de lucrări de explorare, ținînd seama de forma și așezarea zăcămintului în scoarță;
- alegerea modului de amplasare a lucrărilor miniere;
- stabilirea intervalelor și a modului de probare a zăcămintului;
- alegerea scării planurilor topografice și documentarea geologică a lucrărilor miniere.

Lucrările miniere de explorare prezintă avantajul că în bună parte pot fi folosite în faza de exploatare, iar din punct de vedere tehnic și științific asigură cea mai bună cunoaștere a unui zăcămint. În anumite situații însă, datorită costului ridicat al acestora, sînt recomandabile forajele.

2.2. TIPURI ȘI SECȚIUNI DE LUCRĂRI MINIERE DE EXPLORARE

Lucrările miniere de explorare sînt: șanțurile, tranșeele, puțurile de mină, puțurile de explorare, galeriile, planele înclinate, suitorii și coboritorile.

Dintre acestea, șanțurile, tranșeele și puțurile de mină se folosesc și în prospecțiune.

În condiții optime se explorează cu lucrări miniere zăcămintele cu înclinare mare, care aflorează sau sînt situate într-un relief accidentat, precum și cele cu înclinare mică, dacă nu sînt situate la adîncime prea mare de suprafață; în primul caz explorarea se continuă prin lucrări combinate: șanțuri, galerii, puțuri și suitori; în al doilea caz, primele lucrări vor fi puțurile sau planele înclinate, după care se continuă explorarea prin lucrări combinate: galerii și puțuri sau plane înclinate.

Forma, dimensiunile de săpare a lucrărilor miniere și modul de susținere a acestora sînt determinate de obiectivul urmărit, de natura formațiunilor prin care se sapă și de durata de existență precum și de lungimea proiectată a lucrării miniere respective. Toate acestea sînt reglementate prin Norme ale Ministerului Geologiei (tabelul XI.2)

Secțiuni și profile de săpare ale lucrărilor miniere de

Secțiunea de săpare (S) pentru

Torcret sau nesusținut		Lemn		Metal				Be			
				Normal		Circular		Normal		Potcoavă	
Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

GALERII

G1T	2,30	G1L	3,50	—	—	—	—	—	—	—	—
G2T	3,50	G2L	5,00	—	—	G2Mc	5,60	—	—	—	—
G3T	4,50	G3L	6,20	G3M	6,20	—	—	—	—	—	—
G4T	5,60	G4L	6,80	G4M	6,80	G4Mc	6,70	G4B	7,30	G4Bp	7,30
G5T	6,80	—	—	—	—	G5Mc	9,00	G5B	8,50	G5Bp	8,50
G6T	8,00	—	—	—	—	—	—	—	—	G5Bp	8,50
G7T	9,40	G7L	9,70	—	—	—	—	G7B	11,50	G7Bp	12,40
G8T	11,00	—	—	—	—	—	—	G8B	13,10	G8Bp	15,30

PLANE ÎNCLINATE

PL1T	5,20	PL1L	6,70	PL1M	6,70	—	—	—	—	—	—
PL2T	8,00	—	—	—	—	PL2Mc	9,00	—	—	—	—

SUITORI

S1T1	3,20	S1L	5,10	—	—	—	—	—	—	—	—
S2T1	5,10	S2L	6,70	S2Tm	5,10	S2Mc	6,70	—	—	—	—

PUȚURI

—	—	P1L	2,20	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	P2L	3,60	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	P3L	5,50	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul XI.2

explorare, modul de susținere și de utilizare a acestora

sustinerea cu [m ²]				Ø tub aeraj [mm]	Mijloc de încărcare	Mijloc de transport		Lungimea maximă a lucrării [m]
ton						Tipul locomotivei	Capacitate vagonet [m ³]	
Vatră închisă		Circular						
Simb.	S	Simb.	S					
13	14	15	16	17	18	19	20	21

—	—	—	—	—	Manual	—	—	<5
—	—	—	—	400	Manual	—	0,6	6—50
—	—	—	—	400	MIP-2	LAM-4	1,0	51—500
G4Bv	3,00	G4Bc	8,00	600	MIP-2	LDM-45	1,0	501—1500
G5Bv	9,30	G5Bc	10,20	600	MIC-3	LM-7	3,0	1501—3500
G5Bv	9,30	—	—	600	MIB	LM-14	7—11	>3500
G7Bv	14,00	—	—	600	MIC-3	LM-7	1,0	—
G8Bv	18,30	—	—	600	MIB*	LM-14	3,0	—

—	—	PL1Bc	8,00	600	Manual	Troliu	1,0	≤250
—	—	PL2Bc	10,20	600	—	—	—	—

—	—	S1Bc	5,10	400	—	—	—	≤20
—	—	S2Bc	6,70	500	—	—	—	≤300**

—	—	—	—	—	Manual	—	—	≤5
—	—	—	—	—	Manual	—	—	5—15
—	—	—	—	300	Manual	—	—	15—30
—	—	P4Bc	17,30	600	Graifăr	—	0,6	<100
—	—	P5Bc	20,40	2×600	Graifăr	—	1,0	100—400
—	—	P6Bc	25,50	2×600	Graifăr	—	1,0	>500

sau ale Ministerului Minelor (pentru lucrările geologice prin lucrări miniere care au acces din incinta exploatărilor miniere și se execută în regie proprie a acestora).

Alegerea tipului de lucrări miniere (șanțuri, tranșee, puțuri, galerii etc.) depinde de forma și poziția zăcămintului (corpului de substanță minerală) precum și de grosimea rocilor acoperitoare.

2.2.1. ȘANȚURI ȘI TRANȘEE DE EXPLORARE

2.2.1.1. Șanțuri de explorare

Sînt lucrări miniere de explorare simple și ușor de executat. Ele se execută în etapa explorării preliminare ca și în faza de prospecțiune, cînd rocile acoperitoare au grosimi de 0,5–4 m și cînd înclinarea zăcămintului este, în general, mare.

Obiective urmărite. Șanțurile de explorare se folosesc în etapa de explorare preliminară, urmărind în principal verificarea și completarea datelor din prospecțiune, date referitoare la:

- delimitarea mineralizației și a contactului dintre aceasta și rocile înconjurătoare;
- verificarea și trasarea mai exactă a liniei de afloriment;
- determinarea elementelor de poziție și geometrice ale corpului de substanță minerală utilă: direcție, înclinare, grosime, lungime etc.;
- completarea secțiunilor geologice;
- probarea corpului de substanță minerală utilă;
- cercetarea anomaliilor geofizice și geochimice;
- verificarea grosimii depozitelor acoperitoare;
- traversarea zonei alterate din cadrul unui afloriment etc.

Rezultatele obținute din șanțurile și tranșeele de explorare reprezintă argumente pentru amplasarea lucrărilor următoare, urmărindu-se totodată completarea informațiilor la suprafața corpului de substanțe minerale utile.

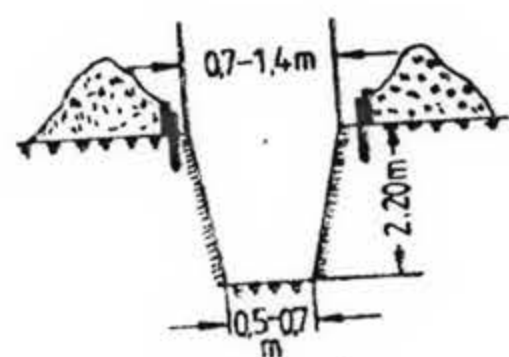


Fig. XI.1. Șanț de explorare cu profil trapezoidal.



Fig. XI.2. Șanț de explorare cu pereții în trepte (secțiune transversală).

Forma și dimensiunile șanțurilor de explorare depind de tăria și grosimea formațiunilor acoperitoare. De obicei au profil trapezoidal, cu baza mică cuprinsă între 0,5 și 0,7 m, iar lățimea la gură de 0,7–1,4 m (fig. XI.1). Adâncimea șanțurilor nu depășește 2–4 m. La adâncimi de peste 2 m șanțurile se sapă în trepte (fig. XI.2).

Înclinarea pereților este de 1/10–1/5, în funcție de tăria rocilor. Lungimea șanțurilor este în funcție de obiectivul urmărit.

Șanțurile trebuie să pătrundă la bază în roca vie sau în mineralizație pe o adâncime de 0,10–0,50 m, putînd avea vatra orizontală sau înclinată, în funcție de configurația reliefului terenului în care se sapă.

Amplasarea șanțurilor de explorare. Șanțurile de explorare se utilizează în următoarele condiții:

- pentru zăcămintele de formă tabulară cu înclinare mare;
- pentru zăcămintele mascate de depozite acoperitoare cu grosime cuprinsă între 0,5 m și 4 m, după ce au fost puse în evidență prin prospecțiune geologică, geochimică sau geofizică;

— în combinație cu puțurile de mină și uneori chiar cu foraje de mică adâncime.

Pentru atingerea scopului urmărit prin șanțurile de explorare, la amplasarea lor se ține seama de o serie de factori cum ar fi:

- rezultatele prospecțiunilor;
- forma și dimensiunile corpului, cunoscute pînă în acest stadiu;
- direcția și înclinarea corpului cunoscute din aflorimente sau din lucrările anterioare;
- grosimea depozitelor acoperitoare, evitîndu-se porțiunile de teren cu grosime mare (> 4 m), dolinele, văile inundabile etc., iar pentru zonele în care nu se dețin informații cu privire la grosimea depozitelor, șanțurile sînt precedate de cîteva puțuri de mină sau chiar de foraje manuale;
- de prezența în zonă a unor obiective mai mult sau mai puțin accesibile.

Atît amplasarea șanțurilor cît și executarea lor trebuie să pornească de la puncte cunoscute pe cît este posibil spre puncte mai puțin cunoscute.

Amplasarea se poate face în funcție de obiectivele urmărite, după cum urmează:

- izolat;
- după linia presupusă de afloriment;
- pe aliniamente;
- în rețea;

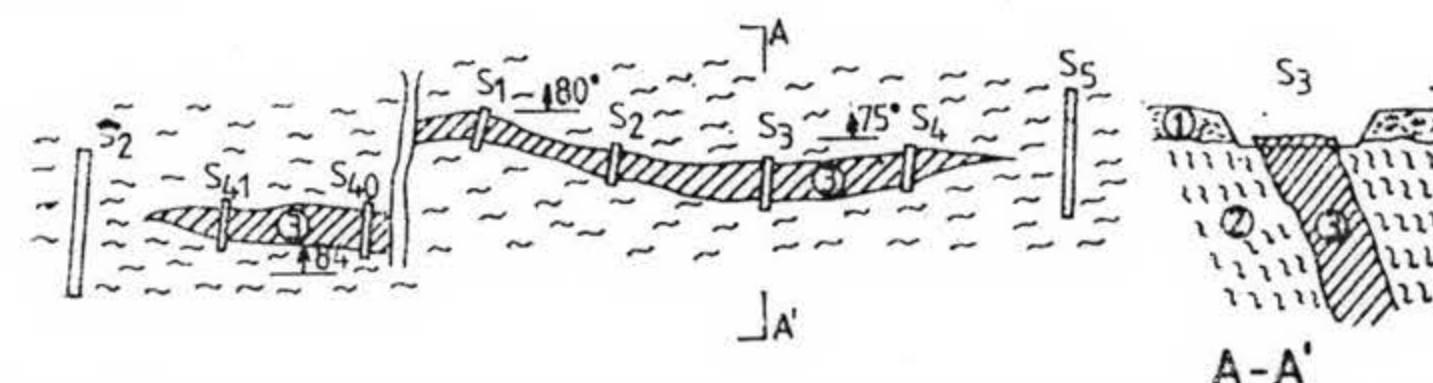


Fig. XI.3. Amplasarea șanțurilor de explorare urmînd linia presupusă de afloriment a unui corp mineralizat de formă tabulară: 1—depozite acoperitoare (sol vegetal); 2—sisturi cristaline; 3—corp tabular cu mineralizație polimetalică; S₁, S₂...S₄₂—șanțuri de explorare preliminară.

În ce privește etapa de cercetare, șanțurile se utilizează în prospecțiune, în explorarea preliminară, cu totul excepțional în explorarea de detaliu și în explorarea de extindere în suprafață.

În cazul zăcămintelor de formă tabulară cu înclinare medie sau mare, amplasarea șanțurilor urmărește, de regulă, linia presupusă de afloriment (fig. XI.3), explorarea făcîndu-se în combinație cu alte tipuri de lucrări (puțuri de mină sau foraje), pre-

cedind aceste lucrări, sau se mai pot utiliza și în mod izolat. Indiferent de modul cum sint distribuite spațial, fiecare șanț se amplasează cu axa mare cât mai perpendicular pe linia presupusă de afloriment în acel punct (respectiv direcția corpului). Numerotarea șanțuri or în etapa de explorare trebuie făcută în așa fel încât să nu se suprapună.

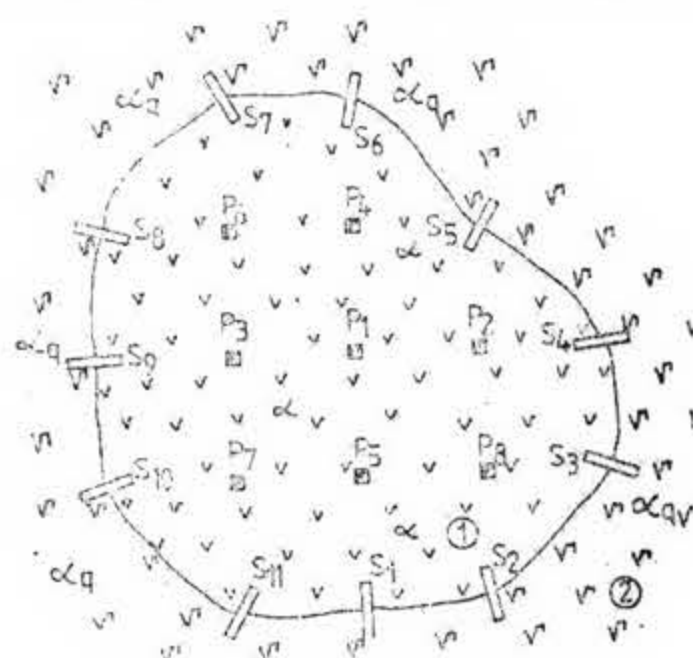


Fig. XI.4. Amplasarea șanțurilor pentru delimitarea unui corp subvulcanic:

1 — andezit subvulcanic; 2 — andezit vulcanic; $S_1 \dots S_{11}$ — șanțuri de explorare preliminară; $P_1 \dots P_8$ — puțuri de mină.

cu numerotarea făcută în prospecțiune și totodată să reprezinte și ordinea de executare.

Pentru zăcămintele de formă tabulară cu înclinare mică ($\leq 15^\circ$), orizontale sau de formă lenticulară și colonară, localizate cât mai aproape de baza de eroziune, șanțurile se amplasează pe toată suprafața corpului, în rețea sau pe aliniamente (dacă grosimea depozitelor acoperitoare este mai mică de 4 m), sau în combinație cu puțurile de mină sau/și foraje de la suprafață (când numai anumite porțiuni permit explorarea cu șanțuri). Rețeaua, în ambele situații, poate avea formă pătratică sau dreptunghiulară. În situația concretă din fig. XI.4 (zăcămint de formă colonară — *porphyry copper*) — se amplasează în zona centrală, pe baza anomaliilor geofizice, puțuri de mină, iar în zona limitei geologice presupuse (perpendicular pe aceasta) se amplasează șanțuri.

În cazul zăcămintelor metasomatice de contact (fig. XI.5) șanțurile se amplasează în explorarea preliminară pentru verificarea anomaliilor geofizice. În acest caz ele au lungime mai mare și, pentru punerea în evidență a limitei dintre rocile carbonatice și skarn, pe de o parte, și a limitei dintre skarn și rocile eruptive pe de altă parte, dar indiferent de scopul urmărit, șanțurile se amplasează pe aliniamente paralele.

Șanțurile se mai amplasează și pe aliniamente neparalele (fig. XI.6), urmărindu-se în acest caz punerea în evidență într-o primă fază a sorturilor de minereu și a limitei corpului eruptiv, urmînd ca investigarea în profunzime să se facă cu foraje.

Pentru situațiile în care șanțurile se folosesc în combinație cu puțuri de mină și cu foraje (fig. XI.7) — cazul explorării unor zăcămint de formă tabulară cu înclinare mică sau orizontale, localizate într-un relief mai puțin accidentat cu treceri la zone cu relief accidentat — șanțurile de explorare completează șanțurile de prospecțiune în ce privește trasarea cât mai exactă a liniei de afloriment, fiind urmate de puțuri de mină sau de foraje, după cum relieful permite acest lucru.

Săparea și susținerea șanțurilor de explorare. Săparea se face manual, în arii de slabă consistență cum sint solurile, aluviunile etc. și cu ciocanul de abataj sau cu explozivi, în rocile tari și foarte tari. În terenuri cu pante mici sau mijlocii, în argile, nisipuri, pietrișuri, săparea șanțurilor se face cu ajutorul excavatorului.

Evacuarea materialului derocat se face prin lopătare directă sau în cascadă, cu ajutorul unor poduri ajutătoare.

Șanțurile nu se susțin decît în anumite cazuri, cînd rocile au stabilitate redusă și cînd trebuie menținute o durată mai mare de timp. În acest caz, susținerea se face cu margini de lemn sau cu scînduri cu grosime de 25 mm, care se așază în lungul pereților șanțului și se întăresc cu propte (șpraițuri) fixate la intervale de 1—1,5 m.

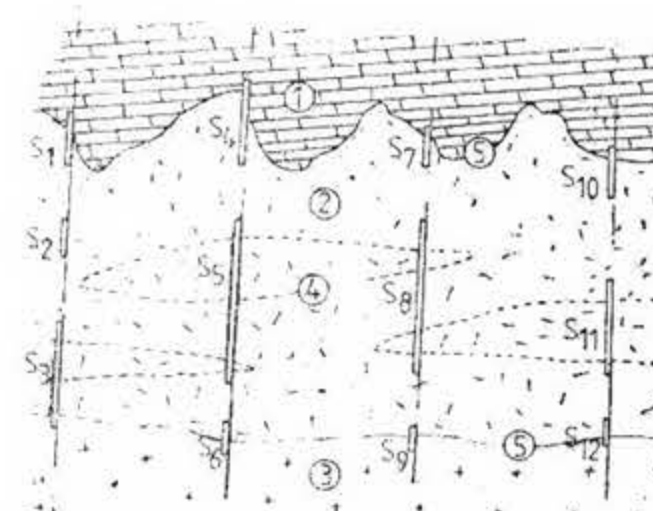


Fig. XI.5. Amplasarea șanțurilor pe aliniamente paralele, pentru verificarea anomaliilor geofizice și delimitarea zonei de skarn:

1 — calcare; 2 — skarn; 3 — roci eruptive; 4 — anomalie geofizică; 5 — limită geologică; $S_1 \dots S_{12}$ — șanțuri de explorare

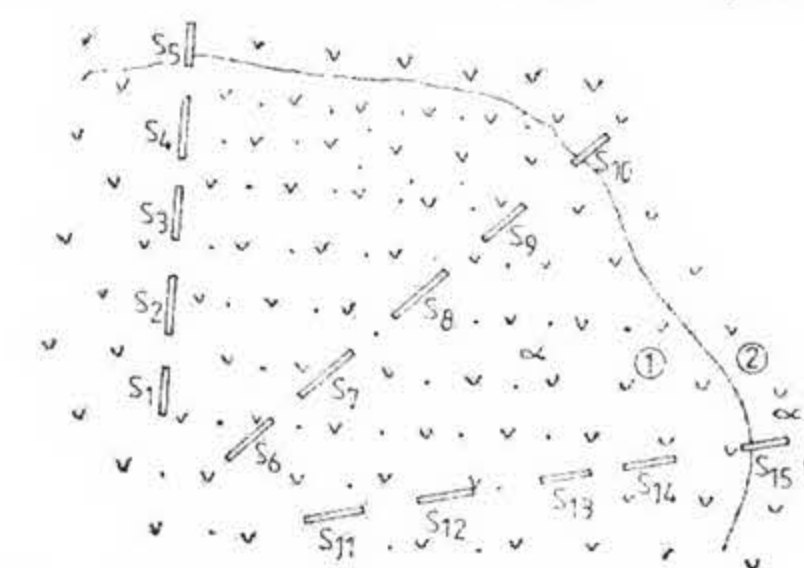


Fig. XI.6. Amplasarea șanțurilor pe aliniamente neparalele pentru explorarea zăcămintelor de formă circulară (corpuri):

1 — andezit mineralizat; 2 — andezit nemineralizat; $S_1 \dots S_{15}$ — șanțuri de explorare.

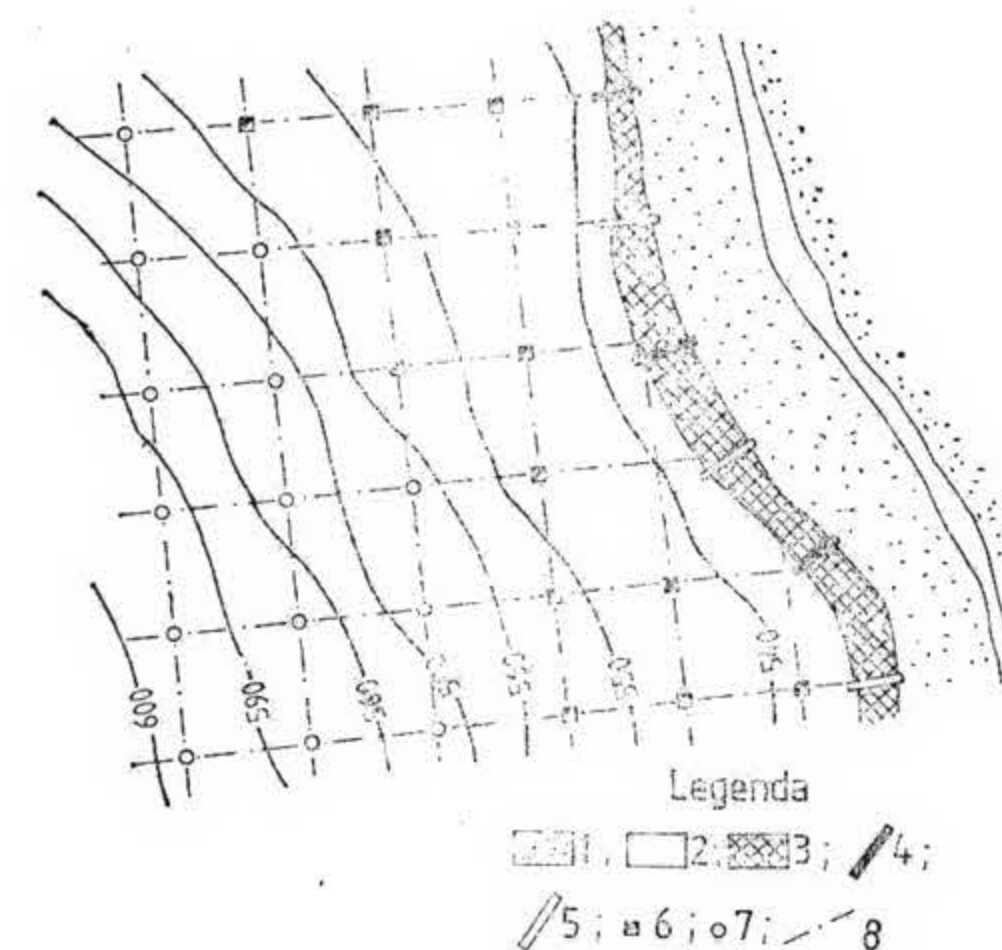


Fig. XI.7. Explorarea în rețea, cu șanțuri, puțuri de mină și foraje:

1 — depozite aluvionare; 2 — deluvii; 3 — zonă de afloriment; 4 — șanț de prospecțiune; 5 — șanț de explorare; 6 — puțuri de mină; 7 — foraje; 8 — delimitarea rețelei.

în desiş sau la anumite distanțe, în funcție de stabilitatea rocilor, sau se pun în spațele unor stilpi care se fixează în vatra șanțului de-a lungul acestuia.

Documentarea geologică a șanțurilor de explorare. Documentarea geologică a șanțurilor este operația cea mai importantă din cadrul explorării cu aceste lucrări și începe imediat după săpare sau se face concomitent cu săparea. Ea trebuie executată cu foarte mare atenție, deoarece în funcție de rezultatele obținute se iau o serie de decizii în ceea ce privește continuarea cercetării.

Fazele documentării sînt următoarele:

Amplasarea pe harta geologică sau pe planul de situație se face în funcție de scara acestora și în funcție de distanțele măsurate din teren (cu ruleta sau cu pasul), de la puncte deja ridicate topografic și care fac parte din hartă pînă la șanțul care face obiectul cercetării. Trecerea pe hartă sau pe planul de situație se face în funcție de azimutul orientării șanțului (al axei mari sau al laturii mari).

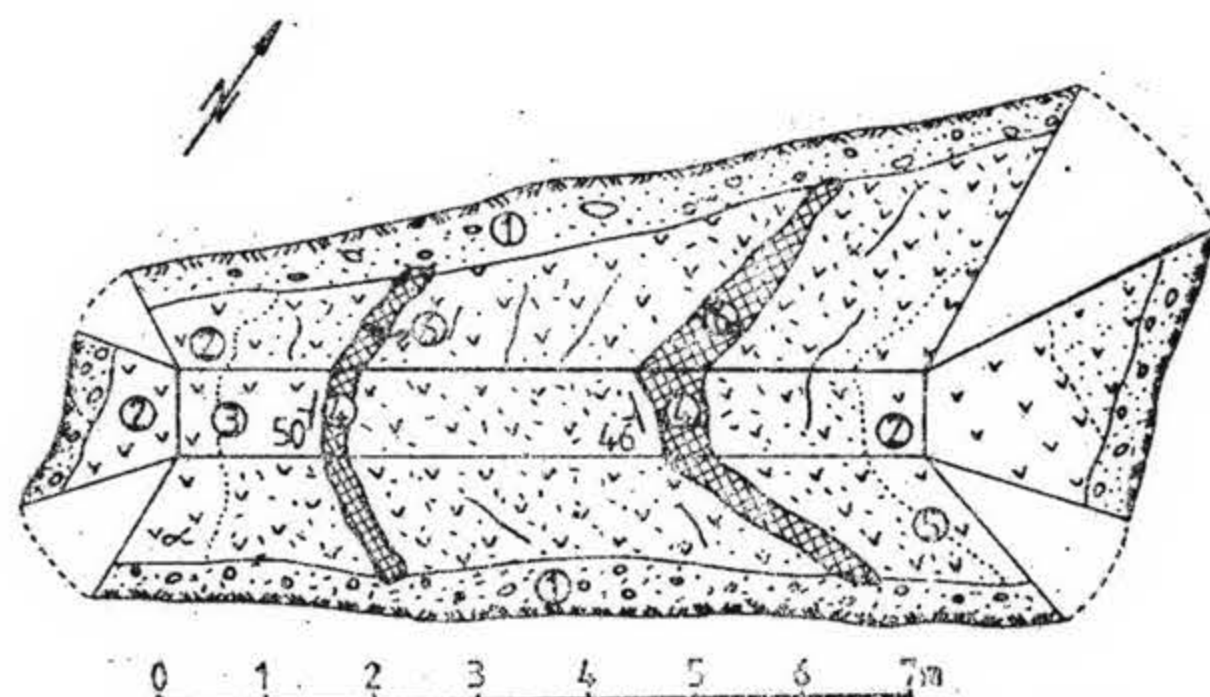


Fig. XI.8. Cartarea desfășurată a unui șanț:

1 — sol; 2 — andezit nealterat; 3 — andezit alterat hidrotermal și fisurat; 4 — filoane; 5 — limită de alterare; 6 — probă sub formă de brazdă.

Cartarea geologică se face pe carnetul de teren și în teren, cuprinzînd două faze: cartarea desfășurată și descrierea șanțului.

Cartarea desfășurată se realizează pe hîrtie milimetrică la următoarele scări: 1:20, 1:50, 1:100, 1:200 (rar) și 1:500 (foarte rar). Se cartează pereții, capetele și vatra șanțului (fig. XI.8).

Etapele cartării desfășurate sînt următoarele:

- măsurarea dimensiunilor și realizarea desfășuratei (rabatarea pereților și a capetelor șanțului în plan orizontal);
- trecerea în revistă a formațiunilor și a elementelor structurale, fixîndu-se datele care se trec pe desfășurată;
- marcarea direcției nord și a direcției de săpare;
- marcarea datelor mineralogice, petrografice, paleontologice (dacă este cazul);
- marcarea elementelor structurale — falii, fisuri (evitîndu-se fisurile rezultate de la împușcare);
- marcarea datelor hidrogeologice;
- marcarea zonelor de alterație;
- marcarea direcției și înclinării corpului de substanțe minerale utile și a faliilor;
- marcarea locului de prelevare a probelor;
- marcarea porțiunilor care urmează a fi detaliate;
- marcarea tuturor detaliilor care pot fi menționate la scara aleasă, fără a încălca desfășurata.

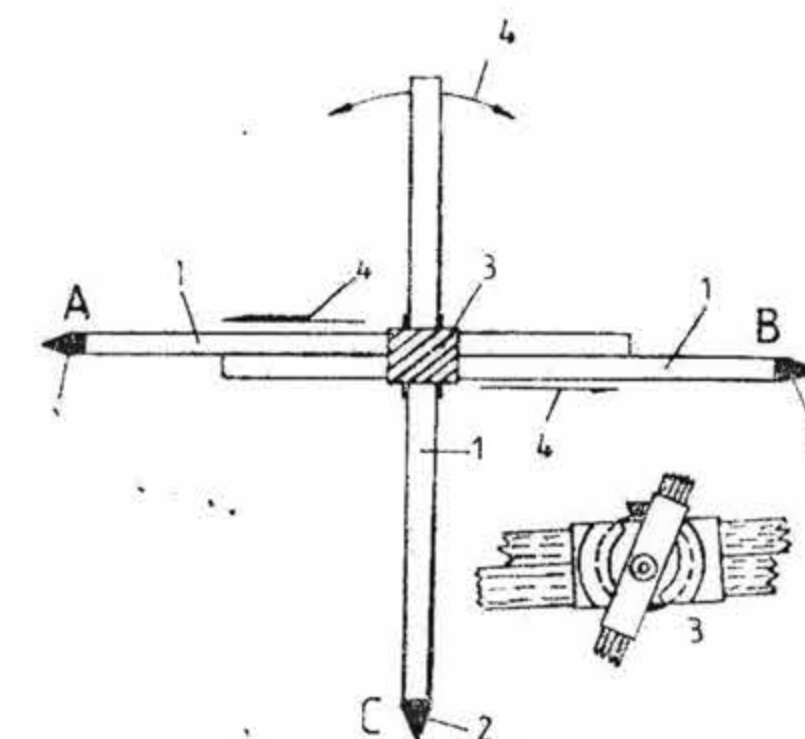
Descrierea șanțului se face imediat după cartarea desfășurată, dar nu înainte de întocmirea legendei cu semnele folosite la reprezentare. La descriere se trec următoarele date:

- numărul șanțului;
- amplasamentul șanțului;
- data începerii și terminării șanțului;
- dimensiunile șanțului;
- orientarea șanțului;
- descrierea fiecărui tip de rocă (observații macroscopice);
- descrierea substanței minerale utile;
- azimutul direcției, înclinarea corpului și a contactelor dintre roca înconjurătoare și corpul de substanțe minerale utile;
- gradul de alterare și fisurare;
- eventualele sorturi de minereu și a raporturilor dintre ele;
- detaliile structurale (fisuri, falii); eventual se poate întocmi diagrama fisurilor;
- caracteristicile hidrogeologice (debit, temperaturi, mineralizări etc.);
- descrierea punctelor fosilifere și a fosilelor;
- descrierea tipului de probe și a locului de probare;
- toate detaliile cu privire la observațiile făcute și care nu au putut fi menționate pe desfășurată la scară.

Atît cartarea desfășurată cît și descrierea șanțurilor servesc nemijlocit la întocmirea documentației finale (raportul de etapă).

Probarea substanței minerale utile se face atît pentru determinarea caracteristicilor mineralogice, petrografice, cît și pentru determinarea caracteristicilor chimice. Probele mineralogice și petrografice se recoltează prin metoda eșantionării.

Fig. XI.9. Dispozitiv cruce:
1 — rigle din lemn sau material plastic (A, B, C); 2 — capete metalice; 3 — placă din material nemagnetic; 4 — senzori de mișcare.



Probele chimice se prelevează sub formă de brazde amplasate pe unul din pereții șanțului și numai în cazuri excepționale (cînd mineralizația nu apare pe pereți) se recoltează și din vatră, deoarece pericolul de contaminare este foarte mare (v. și Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile).

Determinarea azimutului direcției și înclinării corpului zăcămintului, a contactelor sau a faliilor se face cu *busola geologică* aplicată direct (la fel ca în cazul deschiderilor naturale) sau aplicată pe *dispozitivul cruce* (fig. XI.9). În cazul în care se folo-

sește acest dispozitiv, se urmărește foarte atent materializarea planului a cărui azimut al direcției și înclinării trebuie măsurat, iar în continuare se fixează rigleta *A* pe unul din pereți (pe urma planului de măsurat) și rigleta *B* pe celălalt perete (pe urma aceleiași plan), iar rigleta *C* pe urma planului din vatra șanțului.

După materializarea planului de măsurat (cu ajutorul dispozitivului cruce) se așază busole pe placa dispozitivului la fel ca și pe fața de strat, filon, contact, falie etc.

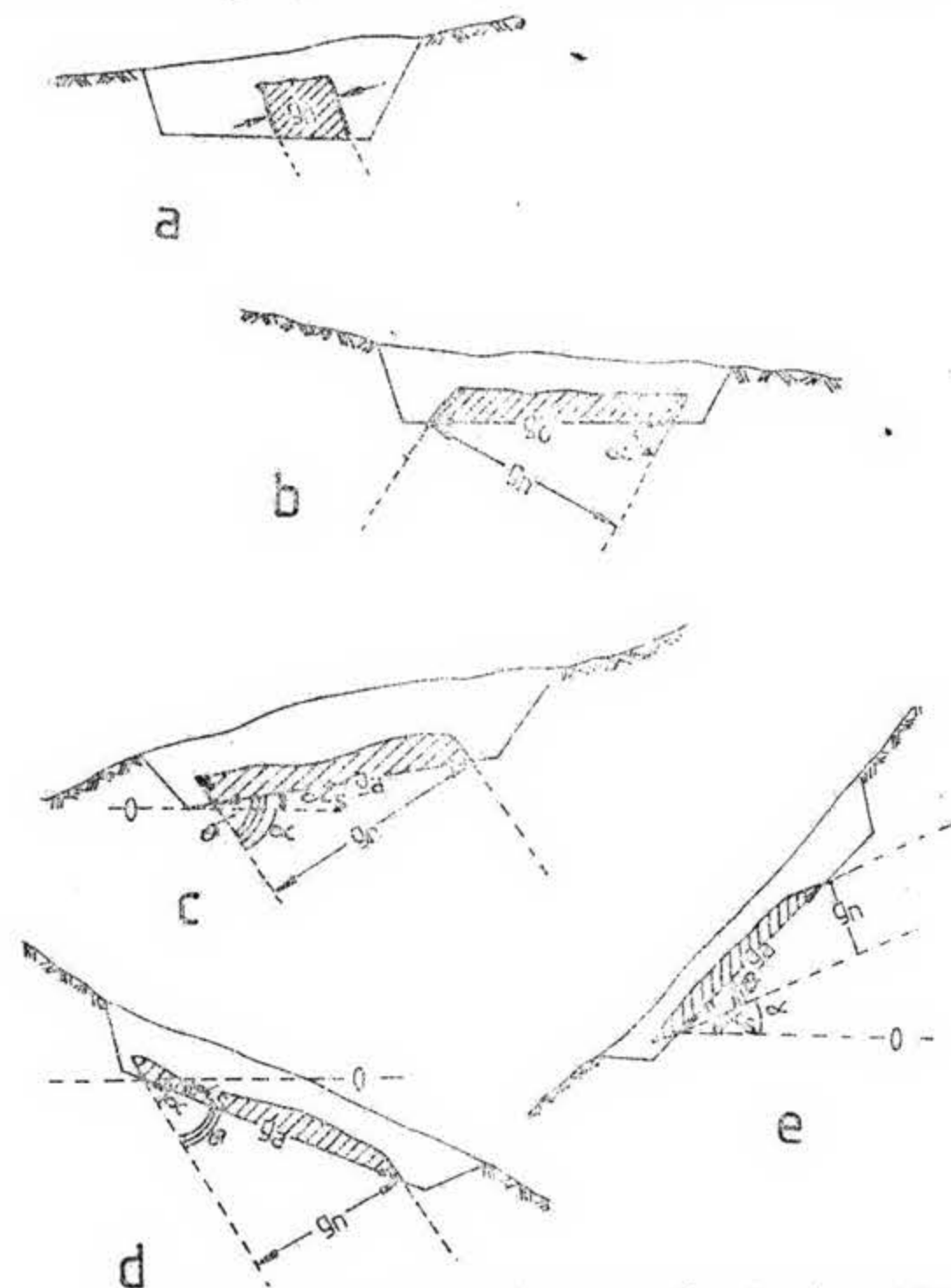


Fig. XI.10. Determinarea grosimii normale a corpurilor de substanțe minerale utile interceptate prin șanțuri de explorare.

Determinarea grosimii normale (g_n) a corpului de substanță minerală utilă se poate face prin măsurarea directă pe unul din pereții șanțului (fig. XI.10, a), în cazul în care grosimea normală a corpului (g_n) se încadrează pe pereți, sau se poate determina în funcție de grosimea orizontală (g_0) sau de grosimea aparentă (g_a) și în funcție de unghiul înclinării corpului (α) și a unghiului înclinării vetrei șanțului (α_s). Cîteva situații care se întîlnesc destul de frecvent în activitatea geologică de explorare:

a) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosime mare, interceptat de un șanț cu vatra orizontală (fig. XI.10, b):

$$g_n = g_0 \sin \alpha;$$

b) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosime mare, interceptat de un șanț cu vatra înclinată în sensul pantei terenului și invers decît înclinarea corpului (fig. XI.10, c):

$$g_n = g_a \sin \theta; \quad \theta = \alpha + \alpha_s$$

c) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosime mare, interceptat de un șanț cu vatra înclinată în sensul pantei terenului și în sensul înclinării corpului (fig. XI.10, d și e):

— cînd $\alpha_s < \alpha_n$; $g_n = \sin \theta$; $\theta = \alpha - \alpha_s$; (fig. XI.10, d);

— cînd $\alpha_s > \alpha_n$; $g_n = g_a \sin \theta$; $\theta = \alpha_s - \alpha$; (fig. XI.10, e);

Abandonarea șanțurilor. Abandonarea șanțurilor se realizează după documentarea completă și constă în recuperarea materialului de susținere (dacă este cazul), după care urmează umplerea lui cu material excavat, pentru prevenirea accidentelor.

2.2.1.2. Tranșee de explorare

Dacă grosimea stratelor acoperitoare depășește 4 m, șanțurile se sapă cu profile mai mari, ca să se poată executa săparea și susținerea pereților, numindu-se în acest caz *tranșee*. Din ele, ca și din puțurile de mină se pot săpa galerii, în scopul cunoașterii mai precise a rocilor acoperitoare (fig. XI.11).

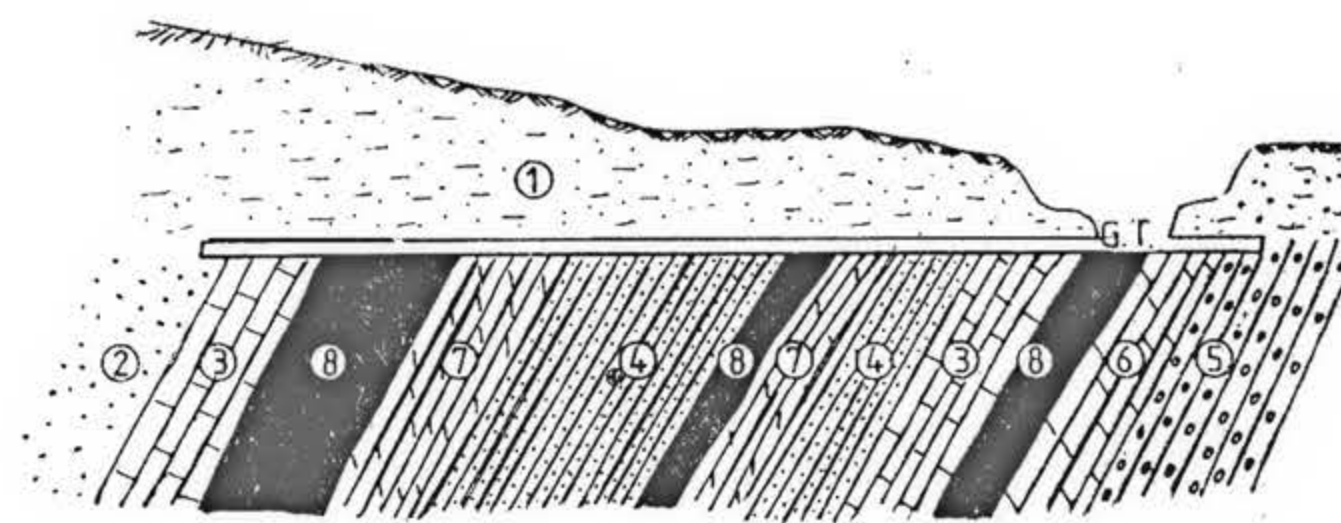


Fig. XI.11. Tranșee de explorare din care se pot executa galerii transversale:

1 — nisip argilos; 2 — nisip; 3 — calcar; 4 — gresie; 5 — conglomerat; 6 — marnă; 7 — argilă marnoasă; 8 — cărbune; GT — galerie transversală.

După documentarea geologică și raportarea lor la planuri, tranșeele se închid prin rambleiere, recuperîndu-se în prealabil susținerea în cazul cînd acestea au fost susținute.

2.2.2. PUȚURI DE MÎNĂ (ȘURFURI)

Puțul de mină este o lucrare minieră de explorare ușoară, verticală, executată de la zi, de adîncime și secțiune mică și de scurtă durată.

Obiective urmărite. Prin puțurile de mină se urmărește, ca și prin șanțuri, determinarea elementelor de așezare a zăcămintului, a caracteristicilor sale calitative și cantitative etc.

Pe lângă aceste obiective se mai urmărește:

- completarea datelor primite din șanțuri;
- traversarea rocilor acoperitoare de grosime mai mare de 4 m (cînd nu mai sînt eficiente șanțurile);
- executarea secțiunilor geologice (prin completarea datelor obținute din cartare și din șanțuri);

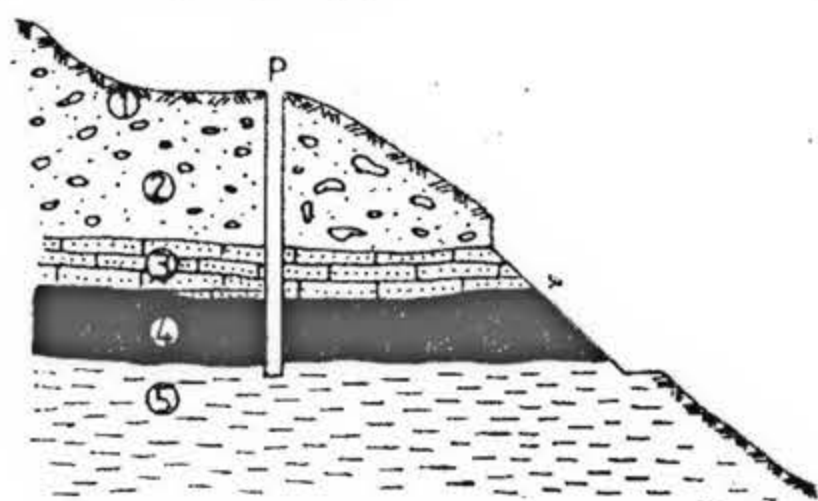


Fig. XI.12. Explorarea cu puț de mină (șurf) izolat, pentru completarea informațiilor din șanțuri:

1 — sol vegetal; 2 — depozite de terasă; 3 — gresii calcaroase; 4 — strat de cărbune; 5 — argilă; ș — șanț de explorare; p — puț de mină.

- probarea informativă a mineralizației (pe lângă probe mineralogice, petrografice și chimice se mai recoltează și probe tehnologice);
- identificarea pînzilor de apă;
- cercetarea anomaliilor geochimice, geofizice etc.

Amplasarea puțurilor de mină. La amplasarea acestora se ține seama de indicațiile directe și indirecte cu privire la existența zăcămintului, de morfologia terenului, evitîndu-se rocile și porțiunile inundabile, iar în zonele cu precipitații abundente se iau toate măsurile împotriva inundațiilor (amplasamentul se protejează prin șanțuri scurte pe înclinare în amonte de amplasament).

Locul de amplasare se nivelează, după care se marchează cu țărui colțurile în cazul puțurilor de profil dreptunghiular și pătratic sau centrul cercului în cazul puțului de profil circular.

În cazul puțurilor de profil dreptunghiular se urmărește ca latura mare a puțului să fie perpendiculară pe direcția presupusă a corpului de substanțe minerale utile.

Puțurile de mină se pot amplasa izolat, în cazul cînd înlocuiesc unele șanțuri (fig. XI.12), în funcție de cerințele locale, sau se pot amplasa pe aliniamente și în rețea în momentul în care completează o rețea de șanțuri (v. fig. XI.4 și respectiv XI.7).

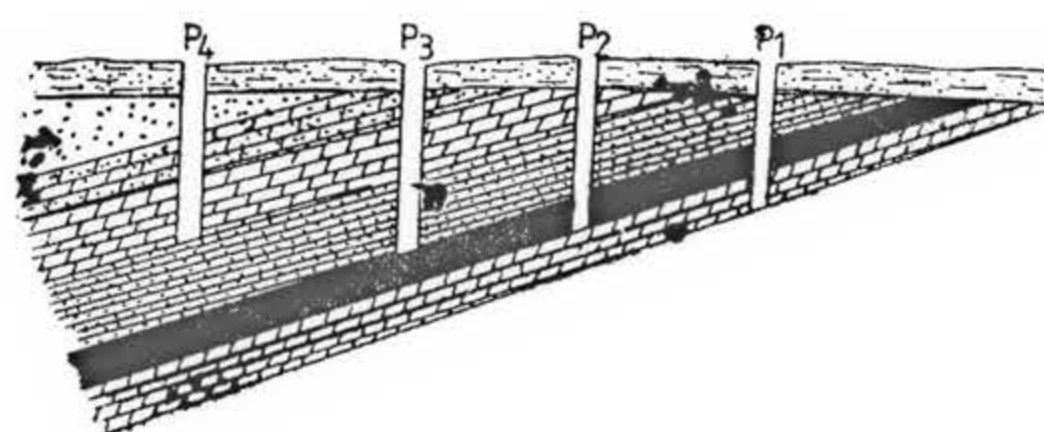


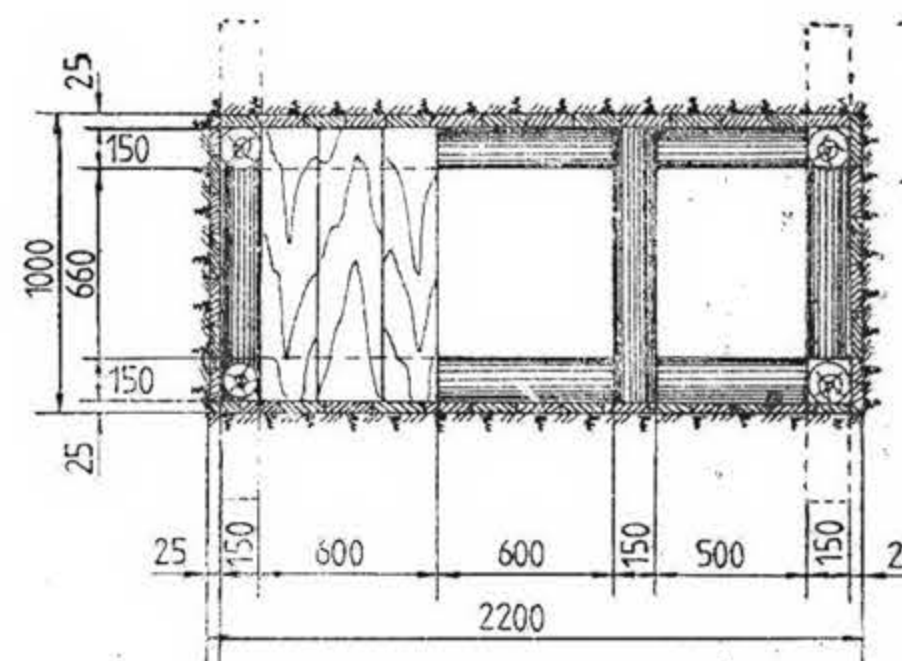
Fig. XI.13. Plasarea și adîncimea relativă a puțurilor de mină.

Cînd se dispun pe aliniamente perpendicular pe direcția presupusă a corpului, puțurile de mină se amplasează în așa fel încît distanța între aliniamente să fie un multiplu al distanței dintre puțurile de pe un aliniament, iar lucrările de pe direcția unui aliniament să nu formeze aliniamente cu celelalte aliniamente. De obicei, la alegerea distanței se are în vedere ca fiecare puț să traverseze stratul în care s-a oprit puțul precedent (fig. XI.13). Prin calcul această distanță se determină cu relația $L = A/\text{tg } \alpha$.

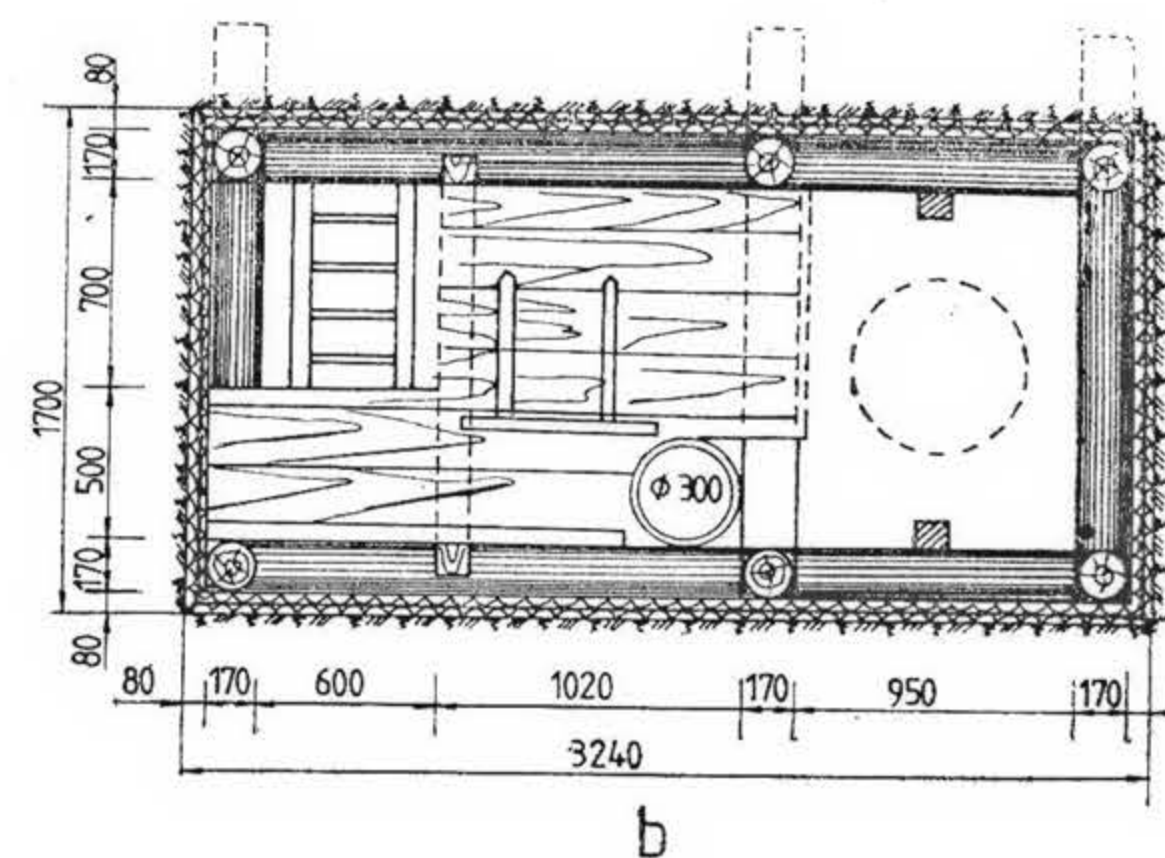
în care A este adîncimea la care apare stratul reper în puț, iar α — unghiul de înclinare al stratului reper.

Folosirea puțurilor de mină este indicată în toate etapele de explorare geologică, cînd situațiile concrete permit acest lucru (corpuri de dimensiuni mari, înclinare medie și mică, localizare cît mai aproape de suprafața terenului).

Forma și dimensiunile puțurilor de mină. Puțurile de mină au profil dreptunghiular și se sapă de regulă pînă la adîncimea de 15–20 m, rareori ajungînd pînă la maximum 30 m. Secțiunea de săpare a puțurilor de mină se adoptă în funcție de adînci-



a



b

Fig. XI.14. Puțuri de mină:

a — PIL cu secțiunea de 2,20 m²; b — P3L cu secțiunea de 5,50 m².

mea acestora: 2,20 m² (fig. XI.14, a) pentru adîncimi pînă la 5 m, 3,60 m² (1450 × 2450 mm) pentru adîncimi de 5–15 m și 5,50 m² (fig. XI.14, b) pentru adîncimi de 15–30 m. În toate cazurile puțurile de mină se susțin în lemn și se compartimentează, unul din cele două compartimente fiind amenajat cu poduri și scări pentru circulație.

Săparea puțurilor de mină se face la început cu unelte obișnuite (tîrnăcop, cazma, lopată), pentru îndepărtarea solului și traversarea rocilor moi, după care pentru traversarea rocilor tari și foarte tari se folosesc găuri de mină și explozivi.

Evacuarea materialului pentru adîncimi mici, pînă la 2–2,5 m, se face direct, prin lopătare. De la adîncimi mai mari de 2,5 m, evacuarea materialului excavat din

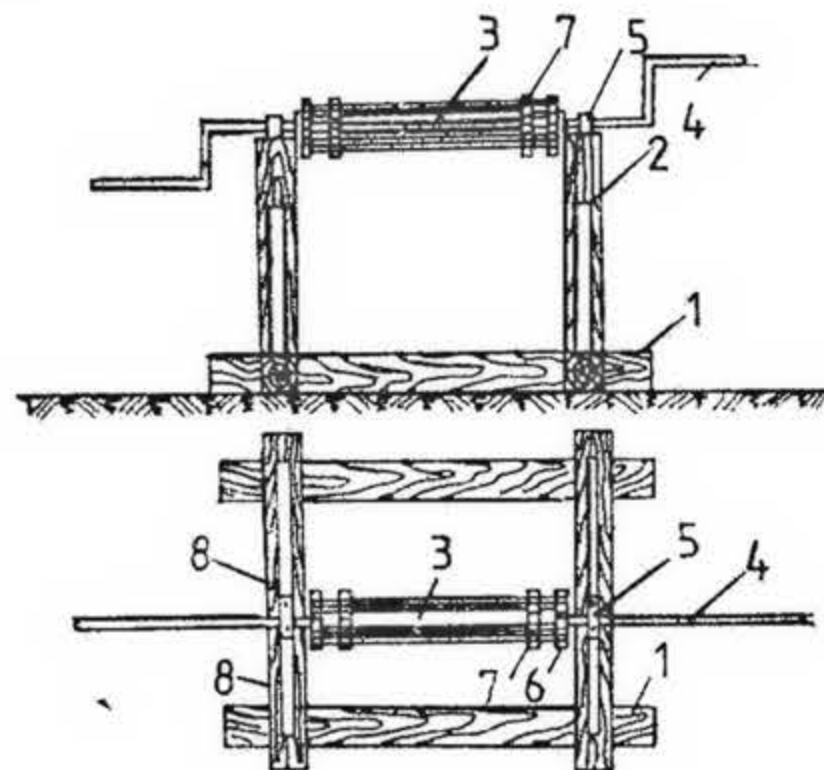


Fig. XI.15. Crivac :

1 — cadru de lemn; 2 — stîlp; 3 — tobă pentru înfășurarea cablului; 4 — manivelă; 5 — lagăr; 6 — dispozitiv de frînare; 7 — cerc metalic; 8 — stîlpi înclinați.

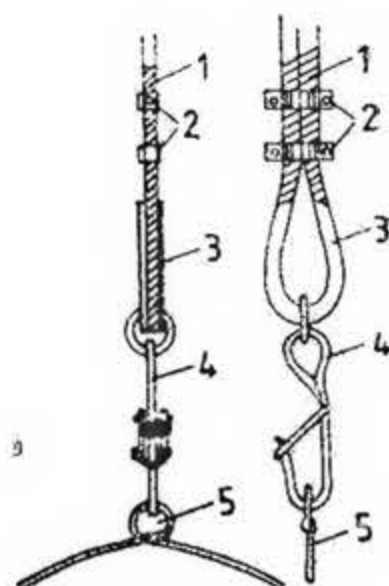


Fig. XI.16. Modul de legare a chiblei la cablul de extracție :

1 — cablu; 2 — eclise de strîngere; 3 — inimă de oțel; 4 — cîrlig; 5 — toarta chiblei.

puț se face cu găleata sau se aruncă treptat pe poduri intermediare. Dacă puțul depășește adîncimea de 5 m, materialul se scoate cu ajutorul unui *trolu de mină* sau *crivac* (fig. XI.15) și a unei găleți sau *chibla*. Chibla este confecționată din lemn sau din tablă obișnuită întărită cu cercuri de oțel lat și este prevăzută cu un mîner (toartă) din oțel rotund. Are o formă cilindrică sau tronconică cu diametrul inferior de 0,25–0,35 m, diametrul superior de 0,35–0,40 m și înălțimea de 0,40–0,50 m.

Pentru ridicarea chiblei se folosesc cabluri de cînepă ($\varnothing = 20\text{--}25\text{ mm}$) sau de oțel ($\varnothing = 6\text{ mm}$). Legarea cablului la toarta chiblei se face ca în fig. XI.16.

Susținerea puțurilor de mină se face, de la caz la caz, cu cadre din lemn rotund sau ecarisat și căptușeală de scînduri sau lăturoaie, așezate în spatele cadrelor de susținere. Cadrele se așază în cîmpuri, la intervale de 1–1,5 m, sau în desiş. Susținerea se face de jos în sus, pe tronsoane de 2 m. La baza fiecărui tronson se așază un cadru de sprijin numit *tropan*, care are fixate în pereții puțului capetele a două grinzi opuse. Cadrul de sprijin susține cadrele de susținere de deasupra, pînă la cadrul de sprijin următor.

Cînd susținerea se face în cîmpuri, între cadre se așază stîlpi (popi) în cele patru colțuri.

Îmbinarea grinzilor cadrelor se face în prag sau coadă de rîndunică. Circulația se face pe scări fixate pe poduri cînd puțul de mină are adîncimi mai mari, sau mobile pentru adîncimi mici.

Podurile se așază pe cadrele de sprijin (tropane) și au deschideri (ferestre) de trecere de 600–700 mm.

Aerajul se face prin difuzie sau prin agitarea aerului cu chibla în mișcare. Pentru adîncimi mai mari se folosesc suflaiuri sau paravane de vînt construite din tablă, scînduri sau foi de cort.

Evacuarea apei se face cu ajutorul chiblei, dacă debitul de apă este mai mic de 6 l/min, iar la debite de pînă la 5 m³/h, evacuarea se face cu pompe de mină.

Săparea și susținerea se face de către echipe de mineri, pe baza unui grafic de execuție a lucrării. Norma de lucru se fixează în m³/post pentru evacuare și separat pentru susținere.

Documentarea geologică a puțurilor de mină. La fel ca și în cazul explorării cu șanțuri, documentarea puțurilor de mină este o operație foarte importantă, care începe odată cu săparea puțurilor sau se poate executa și după săpare, dar înainte de susținere. Urmărirea săpării puțului de mină de către un geolog dă posibilitatea luării unor decizii privind continuarea sau sistarea executării lui la momentul oportun.

Documentarea puțurilor de mină cuprinde următoarele etape:

Ridicarea topografică reprezintă o operație importantă din cadrul documentării și cuprinde:

- stabilirea coordonatelor locației;
- măsurarea adîncimii (determinarea cotei verticale);
- stabilirea verticalității puțului;
- măsurarea adîncimii corpului de substanță minerală utilă față de suprafață;
- stabilirea adîncimii schimbărilor de litologie etc.

Operația de ridicare topografică se poate face de către geolog sau de către topograf, urmînd ca datele obținute să fie trecute atît pe planurile de situație (scara 1:1 000; 1:2 000 sau 1:10 000) cît și pe restul de documente geologice (secțiuni, hărți cu izobate etc.).

Cartarea geologică se face pe carnetul de teren pe măsură ce se execută puțul de mină și cuprinde, la fel ca în cazul șanțurilor, două etape principale: *cartarea desfășurată* și *descrierea geologică* a puțului de mină.

Cartarea desfășurată se realizează pe hîrtie milimetrică la următoarele scări: 1:50, 1:100; 1:200 și 1:500 (rar). În mod obligatoriu se cartează pereții și vatra puțului de mină (fig. XI.17).

Pe planul desfășurat se trec:

- orientarea unuia dintre pereți sau orientarea unui diametru (în cazul puțurilor de profil circular);
- scara grafică verticală;
- dimensiunile puțului;
- elementele de așezare a corpului de substanță minerală utilă;
- elementele structurale;
- elementele geologice (mineralogice, petrografice, paleontologice etc.);
- elementele hidrogeologice;
- porțiunile de detaliere;
- locurile de prelevare a probelor etc.

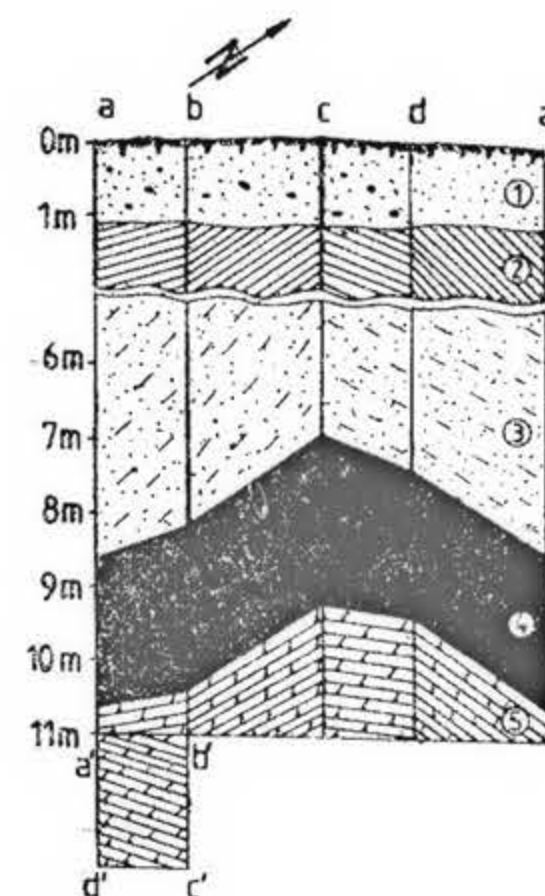


Fig. XI.17. Cartarea desfășurată a unui puț de mină cu profil dreptunghiular :

1 — sol; 2 — argile; 3 — nisip argilos; 4 — cărbune; 5 — marnă.

Descrierea geologică a puțurilor de mină se face în continuarea porțiunii cartate desfășurată și cuprinde:

- numărul și denumirea puțului;
- orientarea puțului;
- amplasarea puțului (distanța până la reperele topografice, coordonatele locației etc.);
- data începerii și terminarea puțului;
- dimensiunile puțului;
- observații de ordin geologic, la fel ca și la șanțuri, care nu se pot menționa pe desfășurată ca urmare a scării alese;
- observațiile de ordin hidrogeologic;
- descrierea porțiunilor detaliate;
- descrierea tipurilor de probe și a locurilor de prelevare etc.

Se recomandă, atât în cazul cartării desfășurate, cât și al descrierii puțurilor, ca înainte de abandonare să se mai facă încă o verificare pentru a nu scăpa o serie de detalii.

Probarea substanței minerale utile în puțurile de mină se face respectind toate condițiile probării. Se prelevează probe mineralogice, petrografice, chimice și tehnologice (pentru faza de laborator și pilot).

Probele mineralogice și petrografice se prelevează prin metoda eșantionării, pe tipuri petrografice sau pe sorturi.

Probele chimice se recoltează prin metoda brazdelor amplasate pe unul din pereți, după grosimea normală (zăcămintele cu înclinare mică și orizontale), când aceasta se încadrează pe pereții puțului sau după grosimea aparentă verticală. În cazul unei variații foarte mari a conținutului în componente utile se probează doi pereți opuși, în final făcându-se media conținuturilor.

Probele tehnologice se recoltează prin răzuirea pereților puțului sau prin reprofilarea puțului.

Metodica probării substanței minerale utile în puțuri este tratată în secțiunea XII.

Determinarea elementelor spațiale a corpului de substanță utilă presupune determinarea: direcției, înclinării și a grosimii reale (normale).

Direcția și înclinarea se pot măsura direct cu busola pe fața de strat (la fel ca în cazul deschiderilor naturale), pe măsură ce se sapă puțul, sau cu busola aplicată pe dispozitivul cruce (procedeul fiind asemănător ca în cazul șanțurilor), s-au se poate determina indirect prin metoda desfășuratei și metoda proiecției cotate.

Determinarea direcției și înclinării pe baza elementelor obținute din cartarea desfășurată (metoda desfășuratei) presupune metarializarea pe desfășurată a unei intersecții a unui plan din cadrul zăcămintului (planul culcușului, acoperișului sau a planului median) cu pereții puțului (fig. XI.18). Dreapta $\overline{AA'}$ reprezintă intersecția dintre un plan orizontal și planul pereților puțului (rabatați în plan vertical); punctele A, B, C, D, A' reprezintă intersecția planului zăcămintului cu muchiile a, b, c, d, a' punctul N este locul de intersecție a urmei planului ($ABCD A'$) cu dreapta $\overline{AA'}$; O reprezintă intersecția dreptei $\overline{AA'}$ cu muchia b .

Prin rabatarea segmentului ON pe muchia b ($ON = ON'$) și unirea punctului N' cu A obținem segmentul $\overline{AN'}$, care reprezintă direcția stratului rabatată în plan vertical (intersecția planului orizontal cu planul stratului). Pentru aflarea azimutului direcției corpului de substanță minerală utilă se adună azimutul peretelui $aba'b'$ (δ) cu unghiul δ_1 (unghiul dintre direcția stratului și peretele ab).

Înclinarea (α) se determină ducind din punctul O perpendiculara \overline{OM} ($\overline{OM} \perp \overline{AN'}$), care reprezintă proiecția liniei de cea mai mare pantă în plan orizontal (în rabatere), după care printr-o mișcare de rabatere ducem segmentul \overline{OM} pe dreapta $\overline{AA'}$ ($\overline{OM} = \overline{OM'}$); unind punctul M' cu B se obține dreapta $\overline{M'B}$ reprezentând linia de cea mai mare pantă rabatată în planul $aba'b'$, iar unghiul α este unghiul real al înclinării stratului.

În cazul în care se cunosc coordonatele unui punct al stratului (punctul în care o muchie intersectează planul stratului) prin care trec două trepte conținute în planul stratului (respectiv urma stratului pe doi pereți adiacenți unei muchii) — fig. XI.19 — se poate determina direcția și înclinarea folosind metoda proiecției cotate (metoda grafică).

În această figură, un puț vertical, de profil dreptunghiular, intersectează acoperișul stratului în punctul A (x_1, y_1, z_1), iar în pereți $a-b$ și $a-d$ avem urma acoperișului stratului, respectiv dreptele Δ_1 (δ_1, α_1) și Δ_2 (δ_2, α_2). Direcțiile (δ_1 și δ_2) și înclinările (α_1 și α_2) se pot obține prin măsurare directă cu busola geologică, iar coordonatele punctului A se pot determina în funcție de coordonatele locației puțului.

Pentru determinarea azimutului direcției stratului (β) și unghiului de înclinare α într-un sistem de axe de coordonate xOy se reprezintă punctul A și dreptele Δ_1 și Δ_2 (fig. XI.20), prin azimutele direcțiilor lor (direcțiile δ_1 și δ_2). Cu ajutorul unghiurilor

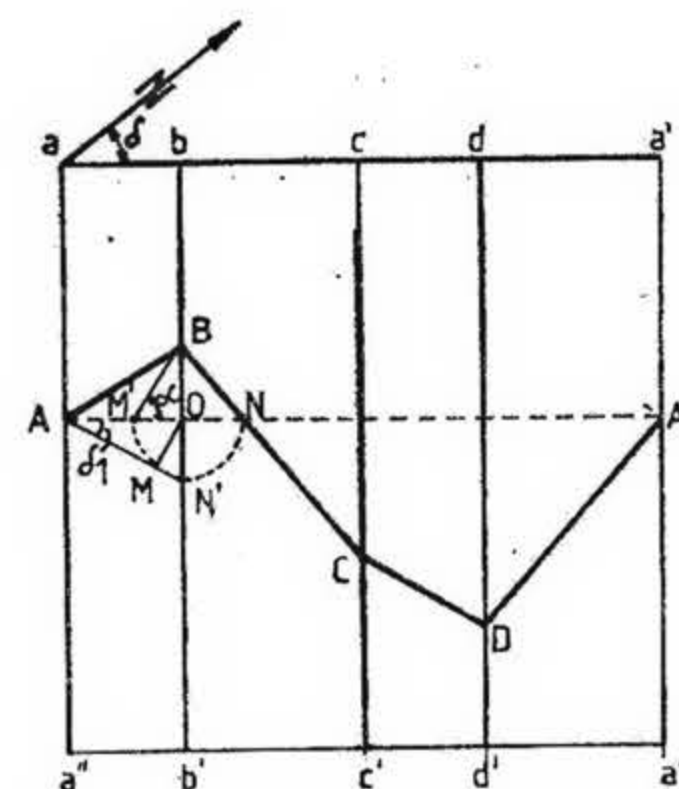


Fig. XI.18. Determinarea direcției și înclinării unui corp de substanță minerală utilă intersectat de un puț, prin metoda desfășuratei.

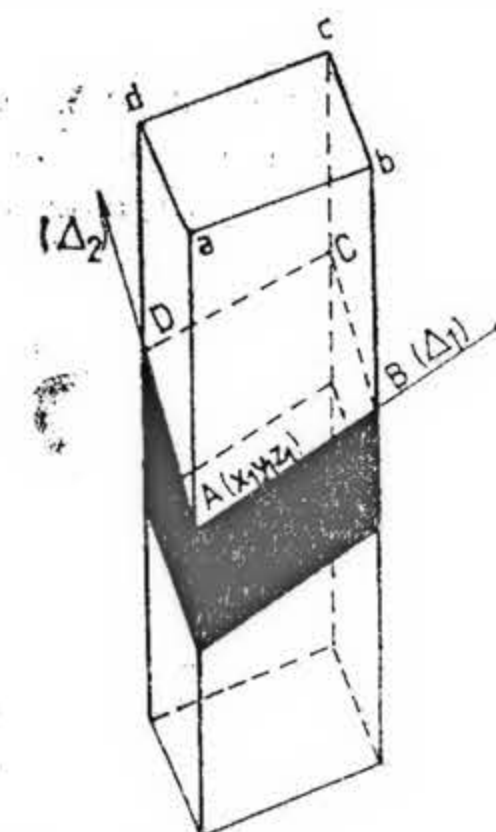


Fig. XI.19. Puț de explorare care intersectează un strat de cărbune.

de înclinare α_1 și α_2 ale celor două drepte se gradează proiecțiile Δ_1 și Δ_2 , începând din punctul A (fig. XI.21). Se determină punctele de aceeași cotă ($z_2 < z_1$), pe cele două drepte (\overline{AM} și \overline{AN}), care prin unire ne dau dreapta \overline{MN} , dreaptă orizontală a planului stratului (direcția), iar azimutul acestei drepte este chiar azimutul direcției stratului (β).

Pentru determinarea unghiului de înclinare, din punctul A se duce o perpendiculară pe direcția (\overline{MN}) până în punctul E (fig. XI.20); dreapta \overline{AE} reprezintă pro-

iecția liniei de cea mai mare pantă într-un plan orizontal. Tot din punctul A se duce segmentul $\overline{AF} = z_1 - z_2$ perpendicular pe segmentul \overline{AE} , și unind punctul F cu E se obține linia de cea mai mare pantă a stratului în mărime reală (FE), rabatată în ju-

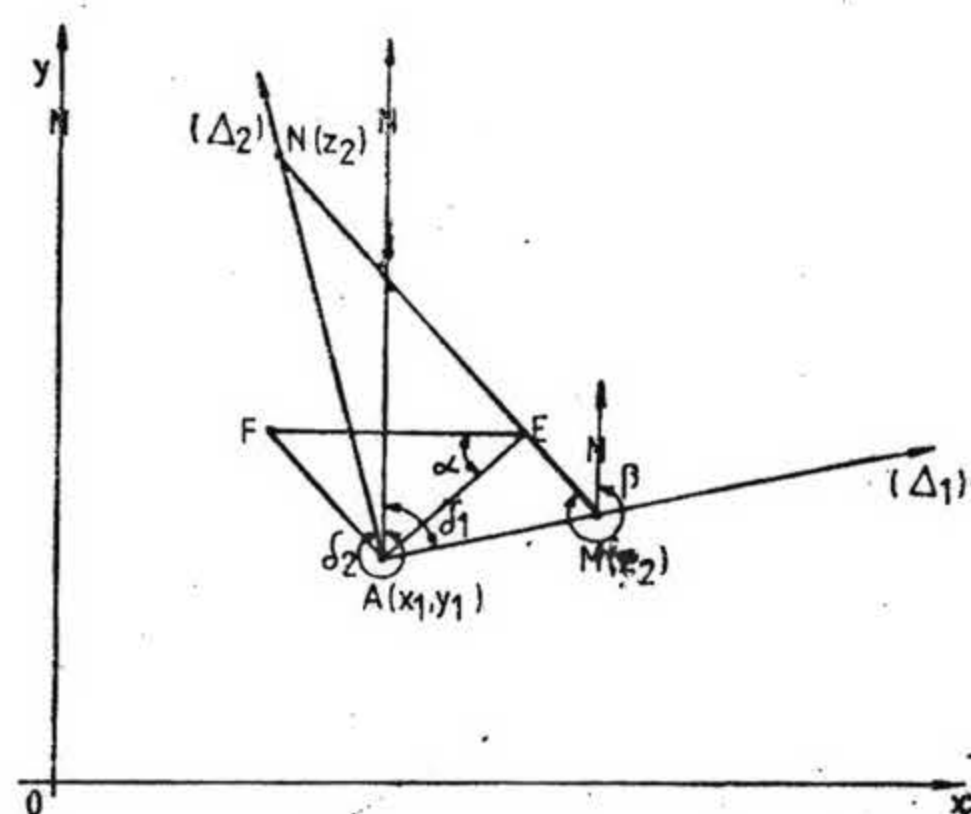


Fig. XI.20. Determinarea direcției și înclinării unui zăcămint sub formă de strat, cunoscând direcțiile și înclinările a două drepte din planul zăcămintului.

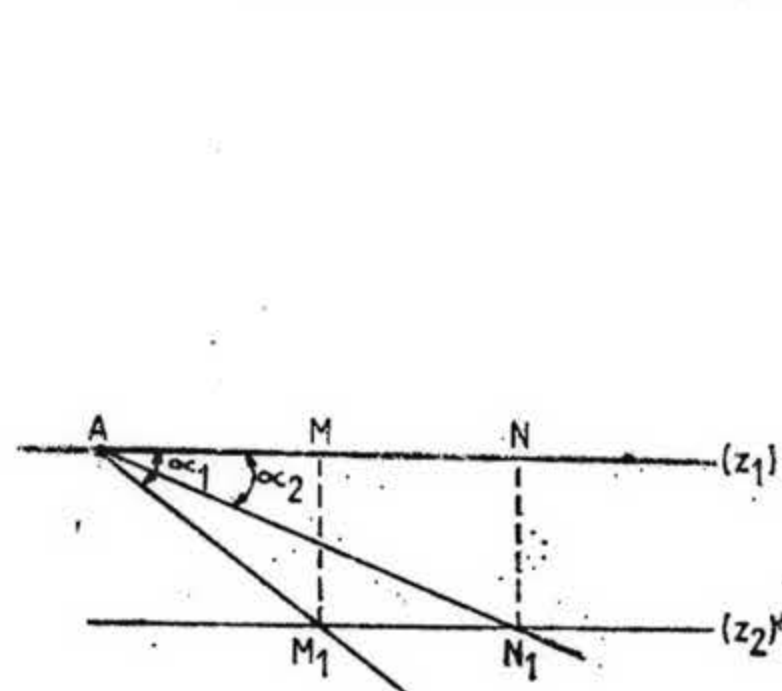


Fig. XI.21. Cotarea (gradarea) a două drepte în spațiu.

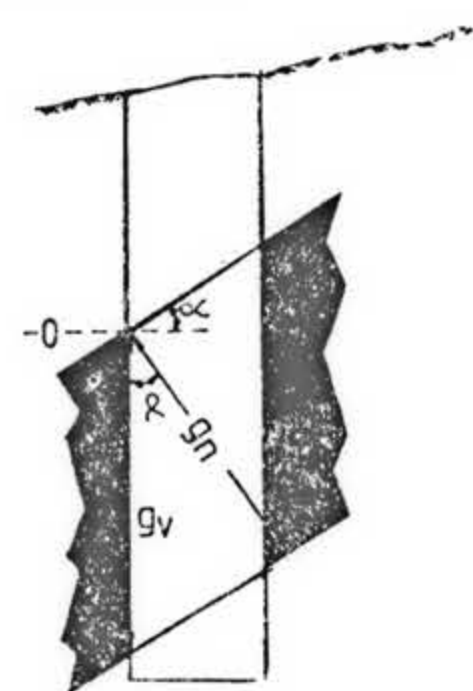


Fig. XI.22. Determinarea grosimii normale (g_n) în cazul unui puț.

rul segmentului AE : unghiul α reprezintă unghiul de cea mai mare pantă în mărime reală.

Grosimea normală a unui corp de substanță minerală utilă se poate obține prin măsurare directă, în cazul în care aceasta se încadrează pe unul din pereții puțului, sau se poate determina în funcție de grosimea verticală (g_v) și de unghiul de înclinare a stratului după formula: $g_n = g_v \cos \alpha$ (fig. XI.22).

Abandonarea puțurilor de mină. Abandonarea puțurilor de mină, la fel ca și în cazul șanțurilor, este o operație careia trebuie să i se acorde multă importanță, și presupune următoarele faze:

- recuperarea materialului de susținere (parțial sau total);
- rambleierea cu materialul excavat, urmărindu-se evitarea formării golurilor subterane;
- împrejmuirea locului;
- verificarea modului de tasare, iar dacă este cazul trebuie intervenit pentru completarea cu material excavat.

2.2.3. PUȚURI DE EXPLORARE

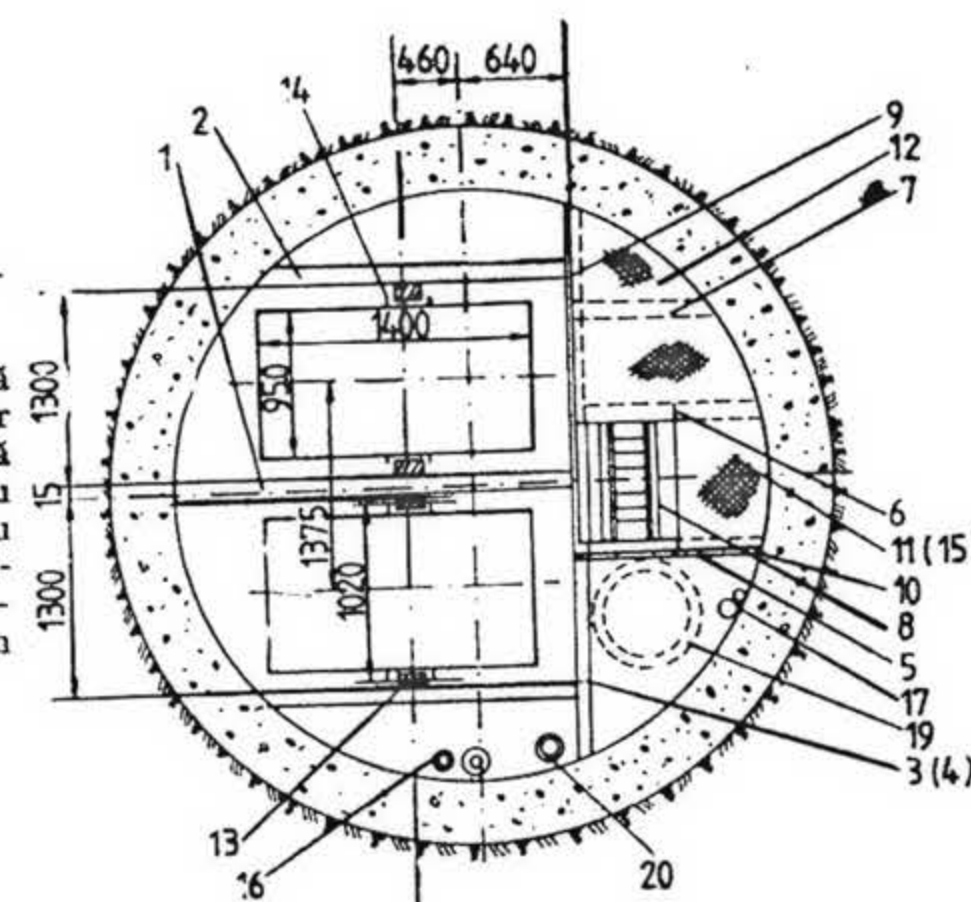
Puțurile de explorare sînt lucrări miniere verticale cu adîncimi și secțiuni mai mari decît ale puțurilor de mină. De regulă, ele fac legătura dintre orizontul de explorare de bază și lucrările miniere pentru explorarea extinderii zăcămintului în adîncime și necesită o organizare mai detaliată a lucrărilor de execuție.

Obiective urmărite. Cu puțurile de explorare se construiește baza rețelei de lucrări miniere subterane pentru explorarea extinderii (amănunțită) a zăcămintului în adîncime, stabilirea succesiunii stratigrafice și cunoașterea proprietăților fizico-mecanice ale rocilor înconjurătoare.

Forma și dimensiunile puțurilor de explorare. După adîncimea la care se execută și după secțiunea puțului se disting:

Fig. XI.23. Puț de explorare circular P4Bc—
Ø 4,0 m, susținut în beton:

1 — moază centrală; 2 — moază laterală; 3 — moază transversală la pod; 4 — moază transversală; 5 — 6 — cornier pentru pod și scară; 7 — cornier pentru pod; 8 — scară metalică; 9 — panou despărțitor lateral; 10 — panou despărțitor frontal; 11, 12 și 15 — tablă striată pentru pod; 13 — ghidaje; 14 — cornier pentru imbinarea ghidajelor; 16 — țevi pentru aer comprimat și apă; 17 — cabluri electrice; 18 — beton pentru pereți; 19 — burlan de aeraj; 20 — conductă pentru evacuarea apei.



— puțuri de mică adîncime, pînă la maximum 50—80 m, cu secțiune compartimentată — un compartiment pentru extracție și unul pentru circulație;

— puțuri de mare adîncime, peste 80—100 m, adîncimea maximă variind de la caz la caz, cu secțiunea compartimentată — 2 sau 3 compartimente.

Puțurile de explorare a căror adîncime depășește 80—100 m se sapă cu profil circular avînd diametrul de 4 m, 4,4 m sau 5 m (fig. XI.23), în funcție de adîncimea

proiectată (v. tabelul XI.2). Ele se susțin cu beton, grosimea pereților plus umplutura variind, în funcție de tăria rocilor, de la 250 + 100 mm în roci ET și FT la 300 + 100 mm în roci T și 300 + 100 sau 350 + 100 mm în roci ST și M.

Gabaritul puțurilor se stabilește ținând seama de următorii factori: adâncimea maximă a puțului, natura rocilor prin care se sapă, utilajul folosit, condițiile hidrogeologice, capacitatea de extracție, cantitatea și dimensiunile materialelor necesare lucrărilor de explorare în continuare, felul susținerii pereților puțurilor, sistemul de aeraj și de evacuare a apelor, posibilitățile de folosire a puțului pentru viitoarea exploatare.

Amplasarea puțurilor de explorare. Puțurile de explorare reprezintă o lucrare costisitoare și greu de executat. De aceea, amplasamentele lor, mai ales dacă se sapă de la suprafață, se aleg cu grijă, ținându-se seama de: topografia locului, natura rocilor, poziția puțului față de zăcămint, alegerea celei mai scurte căi pînă la zăcămint, suprafața necesară pentru amplasarea haldelor.

De multe ori, puțul de explorare se amplasează în afara corpului de zăcămint, pentru asigurarea stabilității sale și pentru a nu imobiliza o cantitate de rezerve în piciorul de siguranță al puțului. De obicei, puțul, ca și lucrările orizontale cu o durată mai mare, se amplasează în culcușul zăcămintului.

Gura puțului nu trebuie amplasată în zone expuse inundațiilor sau în terenuri nestabile.

În sectorul în care se amplasează puțul se face o ridicare topografică cu indicarea curbelor de nivel din 0,25 în 0,25 m pe o rază de 150 m, din 0,5 în 0,5 m pînă la o rază de 250 m, și din 1,00 în 1,00 m pînă la 500 m.

Săparea puțurilor de explorare. Săparea se execută prin metode obișnuite, utilizînd unelte manuale și utilaje mecanice.

Pentru săparea puțurilor de explorare la adâncimi mai mari de 50 m și cu secțiunea de săpare mai mare de 6 m², sînt necesare următoarele instalații și utilaje: turnul de săpare și mașina de extracție, instalațiile de aer comprimat, stația de ventilatoare, pompele pentru evacuarea apelor și atelierul mecanic.

Turnul de săpare al puțului poate fi construit din lemn sau din metal și se așază deasupra gurii puțului.

Dimensiunile și felul construcției gurii puțului sînt determinate de solicitările provocate de construcțiile care se sprijină pe gura puțului și de presiunile laterale ale terenului din jurul gurii puțului.

În mod obișnuit puțul se sapă mai întîi prin rocile alterate aflate la suprafață, pînă la rocile de bază. Pe această porțiune, pereții gurii puțului, care formează *gulerul*, se susțin provizoriu. După ce s-a ajuns în rocile de bază, se zidește un picior și apoi se execută susținerea definitivă a gurii puțului, cu beton.

După construirea gurii puțului se trece la construirea turnului de extracție. Sînt și cazuri mai rare, cînd se construiește întîi turnul de extracție provizoriu sau definitiv prevăzut cu troliu pentru săpare și apoi se sapă și se susține gura puțului. Acest procedeu poate pune însă în pericol turnul de extracție prin lucrările de exploatare (împușcare).

Turnul de săpare susține, la partea sa superioară, roțile de ghidare (molettele) a cablurilor de extracție. El servește totodată pentru susținerea cablurilor, pentru suspendarea pompelor, pentru fixarea cablurilor de ghidare a chiblei, la montarea platformei de descărcare a chiblei. Turnul are forma unui trunchi de piramidă cu înălțimea de 6–10 m și este prevăzut cu trei platforme sau poduri: una superioară — *pentru molette*, a doua așezată la 3 m deasupra gurii puțului — *platforma de descărcare*, și a treia așezată la nivelul gurii puțului — *platforma de încărcare*. Pe aceasta din urmă se așază plăci metalice și liniile de cale ferată pentru transportul vagonetelor încărcate

cu materiale ce se introduc în puț. Elementele constructive ale turnului de săpare constau din stîlpi, grinzi și contrafișe. Cînd acestea sînt din lemn se consolidează prin buloane și șuruburi.

Mașina de extracție pentru săpare constă dintr-un troliu cu unul sau doi tamburi și cu dispozitiv de frînare. Ea se așază lateral, la o distanță între axa puțului și axa mașinii de extracție, astfel calculată, ca unghiul de înclinare a cablului să fie de 45–60°.

În funcție de tăria rocilor și afluența de apă, săparea se face prin metode obișnuite sau prin metode speciale.

Metoda obișnuită de săpare constă în excavarea și evacuarea rocii. În roci tari și foarte tari, excavarea se face cu ajutorul explozivilor, iar în roci moi cu ajutorul uneltelor manuale sau a utilajelor mecanice. În primul caz, după ce s-a stabilit numărul, adâncimea găurilor de mină și cantitatea de exploziv la un salt, se plasează găurile de mină. Plasarea găurilor de mină depinde de: forma secțiunii puțului, tăria, înclinarea și stratificația rocilor, tipul explozivilor folosiți etc.

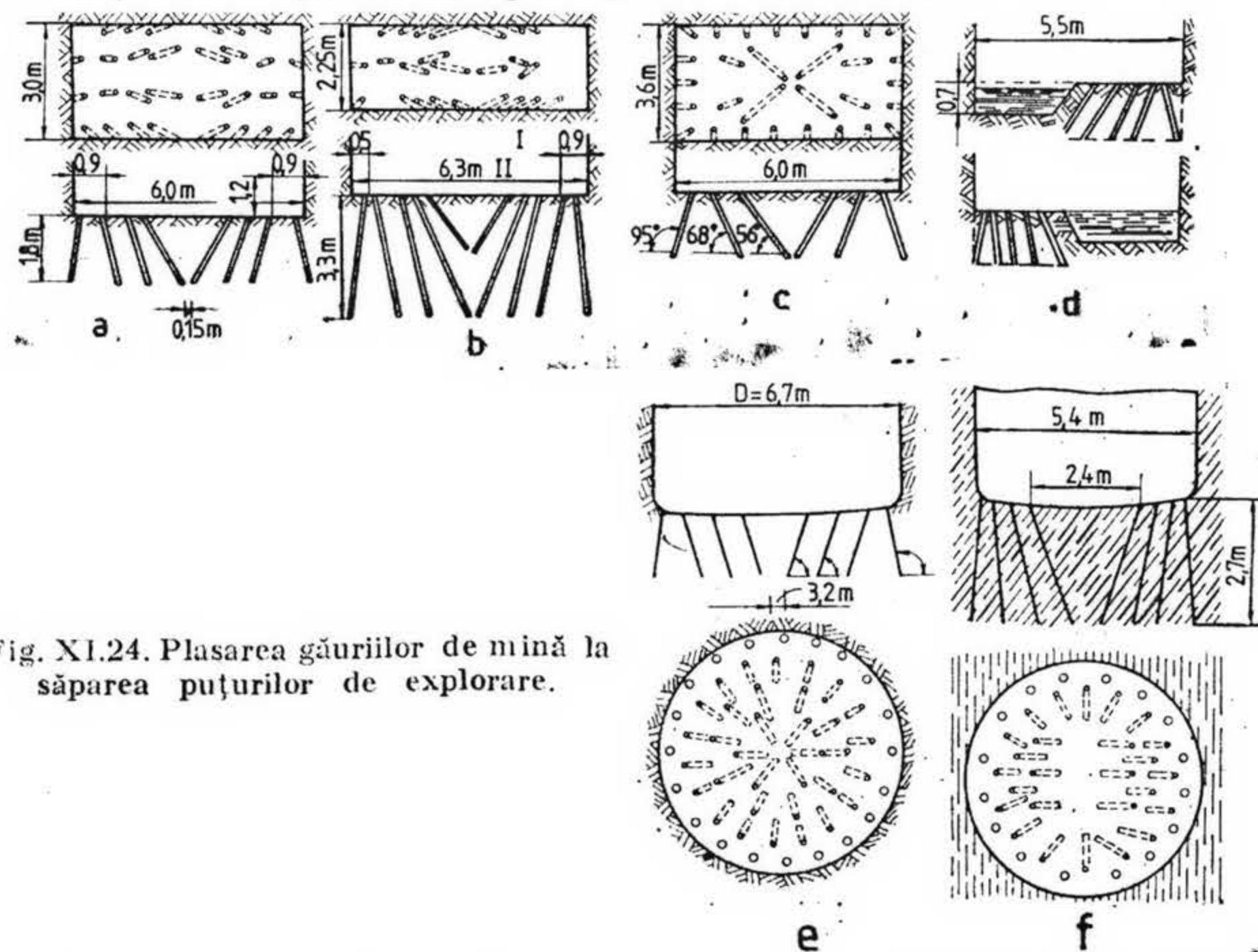


Fig. XI.24. Plasarea găurilor de mină la săparea puțurilor de explorare.

Ca și în cazul galeriilor, se folosesc găuri: de simbur, de lărgire și de profilare.

Schemele cele mai obișnuite de plasare a găurilor de simbur la săparea puțurilor dreptunghiulare sînt: simbur în formă de *pană centrală* (fig. XI.24, a) în cazul rocilor de tărie mare și medie, simburile în formă de *pană centrală dublă* (fig. XI.24, b) utilizat în roci foarte tari, simburile în formă de *piramidă centrală* (fig. XI.24, c) folosit în roci tari și simburile în formă de *pană laterală* (fig. XI.24, d) folosit în roci sistoase.

La săparea puțurilor circulare, găurile se plasează în mai multe cercuri concentrice având înclinări diferite (fig. XI.24, e); în cazul rocilor sistoase se obțin rezultate bune utilizând simburile în formă de *pană centrală* (fig. XI.24, f).

Adâncimea găurilor este în mod obișnuit de 1,5–2 m. Utilajele de perforare a găurilor constau din perforatoare pneumatice, furtunuri, sfredele și accesorii.

Evacuarea rocii rezultată în urma împușcării se face cu chibla care se încarcă cu ajutorul graifărului (fig. XI.25).

Pentru aerisirea frontului de lucru în timpul săpării se folosesc două sisteme de aeraj, ca și în cazul săpării galeriilor: aerajul aspirant și aerajul refulant.

Aerajul refulant este indicat datorită avantajelor pe care le prezintă față de sistemul aspirant, și anume: favorizează circulația normală pe puț a gazelor de explozie, ajută amestecarea mai intensă a gazelor nocive și evacuarea mai bună a aerului viciat, introduce în puț aer uscat. Distanța (l) de la tuburile de aeraj până la frontul de lucru se determină cu relațiile:

— pentru aerajul aspirant

$$l = 3 \sqrt{S} \quad [\text{m}];$$

— pentru aerajul refulant

$$l = 6 \sqrt{S} \quad [\text{m}]$$

în care S este secțiunea de săpare a puțului, în m^2 .

Instalația de aeraj cuprinde: ventilatorul, tuburile de aeraj și ușile care acoperă gura puțului. Ventilatoarele sînt tubulare și sînt acționate de un motor electric de 7,5 kW. Tuburile de aeraj sînt din tablă zincată cu diametrul de 300–400 mm și lungimea de 2 m, pentru îmbinare fiind prevăzute cu fanșe fixe. Instalația de producere și transport a aerului comprimat cuprinde compresoarele, rezervoarele-tampon, conductele de aer comprimat și accesorii.

Instalația de evacuare a apei constă din una sau două pompe cu piston — acționate pneumatic, sau centrifugale — acționate electric.

Susținerea puțurilor de explorare. La adâncimi care nu depășesc 40–50 m, în cazul rocilor tari și foarte tari, puțurile nu se susțin, însă se prevăd cu cadre pentru compartimentare și amenajare cu poduri și scări de circulație. Aceste cadre se așază la intervale de 2–6 m; grinzi (tropanul) se încastrează în pereții puțului.

În roci semitari puțurile se susțin cu cadre de lemn rotund sau ecarisat cu diametrul de 15–25 cm, îmbinate în prag drept sau în coadă de rândunică și așezate în cîmpuri, la intervale de 0,5–1,5 m. Între două cadre, la colțuri, se așază stîlpi (popi). În cazul presiunilor mari, cadrele de susținere se așază în desiş, adică unul peste altul și se sprijină la anumite intervale pe tropane (cadrul purtător).

Susținerea în lemn se execută în mod obișnuit pe tronsoane, concomitent cu săparea, după ce puțul a fost săpat 2–6 m.

Viteza de execuție a susținerii în desiş este de 3–4 m/24 ore, iar în cîmpuri de 4–6 m/24 ore.

În timpul așezării cadrelor se face verificarea orizontabilității cadrelor cu ajutorul echerului cu fir cu plumb sau cu nivela.

Verificarea verticalității se face cu patru fire cu plumb suspendate în colțurile puțurilor. Pe măsura adîncirii puțului se montează și ghidajele. Acestea se fac din grinzi de lemn de brad sau pin, lungi de 4–8 m, cu secțiunea de 10×10 cm sau 15×20 cm.

Susținerea puțurilor de explorare care depășesc 40–50 m adîncime se face în beton, în sens descendent, în tronsoane de cîte 7 m, adică la nivelul unui picior de

sprijin și se execută concomitent cu săparea puțului, cu ajutorul cofrajelor glisante metalice (fig. XI.25). Susținerea se montează în imediata apropiere a frontului de lucru, pe tronsoane scurte, sensul de betonare a puțului este descendent, iar fiecare tronson se betonează ascendent, tehnologia operațiilor executîndu-se în ordine succesivă. Operația de betonare se desfășoară sub protecția unui pod.

Lucrările de amenajare cu moaze a puțului se fac de la nivelul platformei superioare a podului, pe platforma inferioară fiind așezate troliile de suspendare a graifărului de încărcare a materialului rezultat de la împușcare. Ambele platforme sînt prevăzute cu orificii tubate pentru trecerea chibrelor, a conductei de aeraj, a țevilor de aer comprimat și a conductelor prin care se introduce betonul.

Betonul se prepară la gura puțului, într-o instalație care se compune dintr-un siloz pentru pietriș și unul pentru nisip, betoniere, dozatoare, un elevator și o bandă pentru transportul cimentului cu clorură de calciu dizolvată. Dozarea materialelor pentru prepararea betonului se face volumetric.

Susținerea puțurilor în beton realizată cu ajutorul cofrajelor glisante are avantajul obținerii unor viteze mari de lucru, și reducerii substanțiale a costurilor.

Documentarea geologică se face ca și în cazul puțurilor de mină, cu mențiunea că se insistă foarte mult pe probare, în vederea stabilirii caracteristicilor fizico-mecanice ale rocilor în care se sapă.

Un puț de explorare poate deveni în fază de exploatare puț de aeraj, de rambleu sau chiar de extracție.

În cazurile cînd nu pot fi folosite în faza următoare a exploatării, puțurile se părăsesc rambleindu-se, după recuperarea materialelor de susținere și a utilajelor cu care au fost dotate.

2.2.4. GALERII DE EXPLORARE

Sînt lucrări miniere orizontale săpate în zăcămint sau în rocile înconjurătoare, plecînd de la suprafață, sau din subteran, de la o altă lucrare de explorare. Din ele se sapă lucrările miniere de explorare pe înclinarea zăcămintului — suitori, coboritori, plane înclinate.

Obiective urmărite. Prin galeriile de explorare se urmărește cercetarea zăcămintului pe direcție sau transversal pe direcția acestuia, pentru a determina: elementele

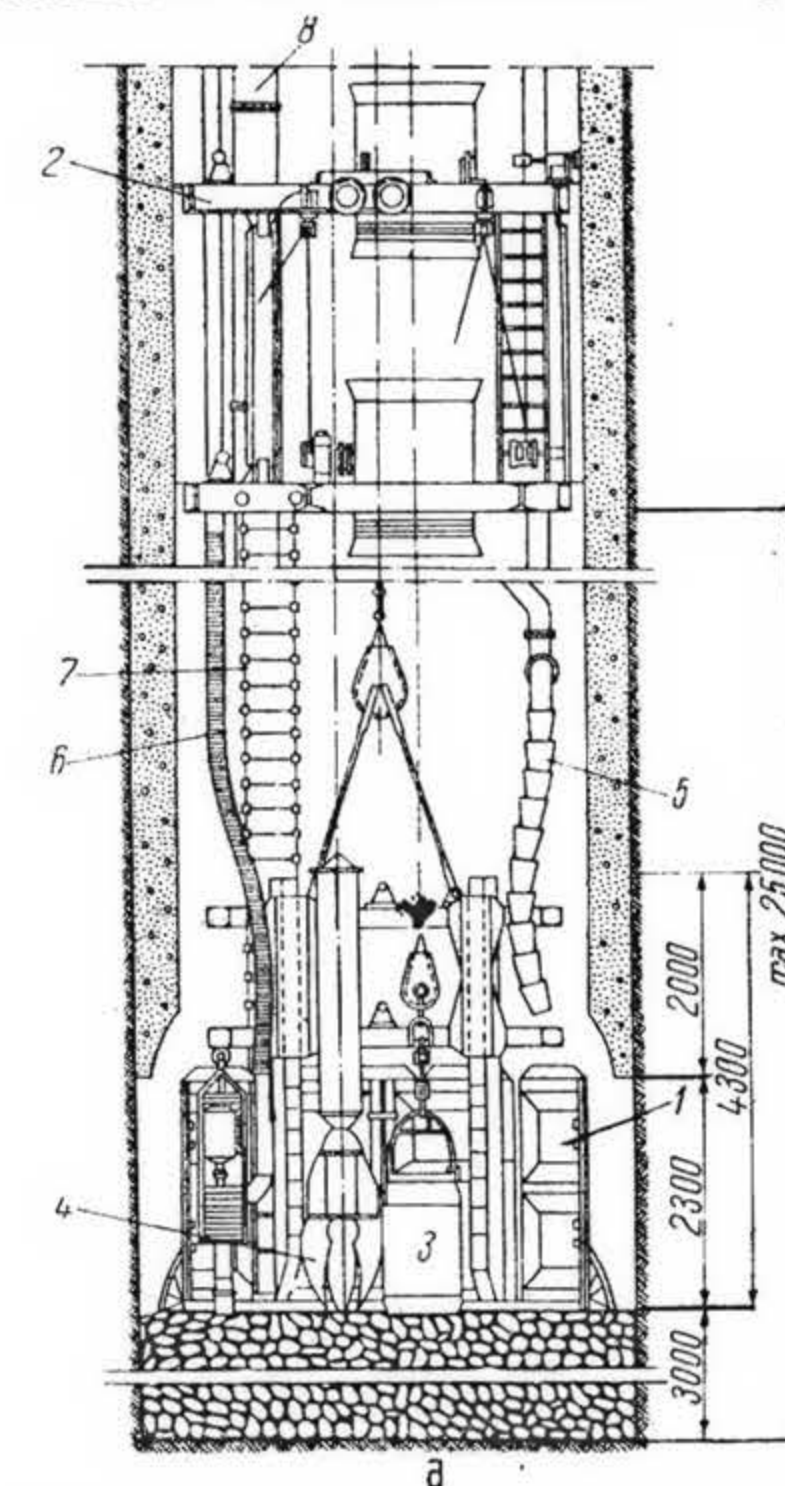


Fig. XI.25. Betonarea puțului concomitent cu săparea:

1 — cofraj glisant; 2 — pod de protecție; 3 — chibla; 4 — graifăr; 5 — conductă flexibilă; 6 — furtun de aer comprimat; 7 — scară mobilă; 8 — conductă de aeraj.

lui geometrice și de poziție și variațiile acestora, calitățile substanței minerale utile, accidentele tectonice și natura rocilor înconjurătoare.

Amplasarea galeriilor de explorare. Când zăcămintul este localizat în terenuri accidentate, explorarea lui se face prin galerii, urmărindu-se cercetarea lui la diferite nivele.

După direcția față de zăcămintul urmărit, galeriile de explorare se împart în: galerii *transversale* și galerii *direcționale*.

Atât galeriile transversale cât și cele direcționale pot fi executate de la zi, sau din alte lucrări subterane (puțuri, plane înclinate etc.).

Galeriile transversale se execută de obicei în steril și au ca scop intersectarea corpurilor de minereu. Galeriiile direcționale se execută de obicei în zăcămint și urmăresc deschiderea acestuia pe direcție (fig. XI.26).

Galeriile transversale sau direcționale, când sînt începute la zi, poartă denumirea de *galerii de coastă*.

În cazul galeriilor direcționale, când grosimea zăcămintului este mai mare decît secțiunea galeriei, aceasta se sapă pe lîngă peretele cel mai stabil, de obicei în culcușul zăcămintului. Când zăcămintul este neregulat, sau are infiltrații puternice de apă, galeria direcțională se execută la o oarecare distanță de zăcămint, iar din

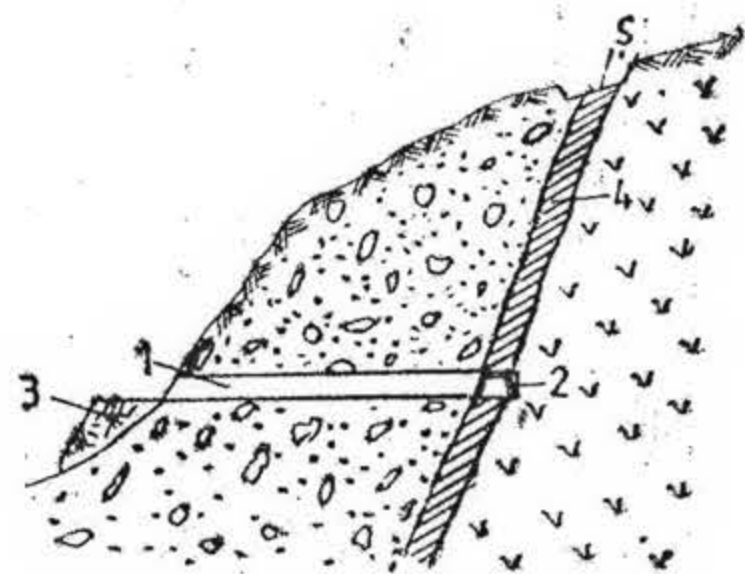


Fig. XI.26. Explorarea unui zăcămint de formă tubulară, situat într-un teren accidentat, prin galerii:

1 — galerie transversală de coastă; 2 — galerie direcțională în zăcămint; 3 — haldă; 4 — filon; 5 — șanț de prospecțiune sau de explorare.

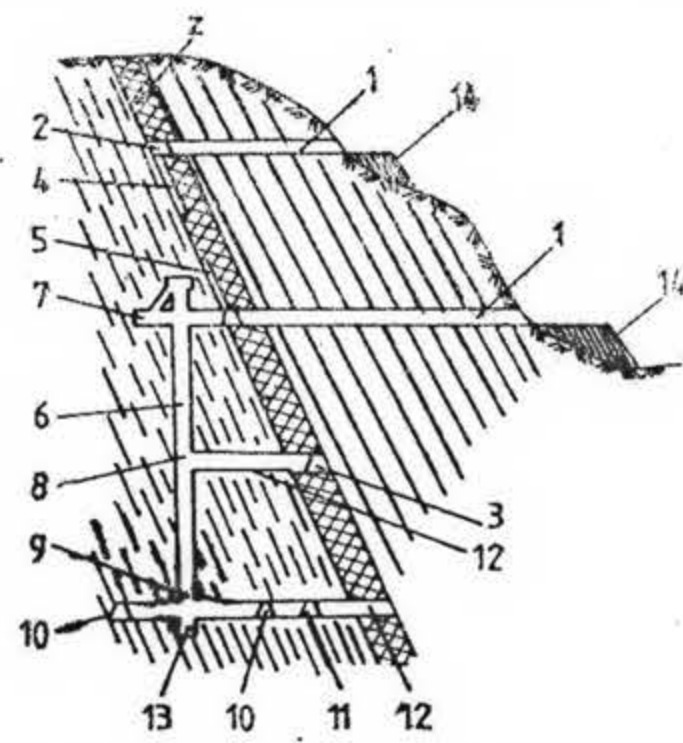


Fig. XI.27. Explorarea unui zăcămint de formă tabulară prin lucrări miniere combinate:

Z — zăcămint; 1 — galerie de coastă; 2 — direcțională pe culcuș; 3 — direcțională de acoperiș; 4 — coboritoare; 5 — suitoare; 6 — puț orb; 7 — camera trolului; 8 — rampă simplă; 9 — rampă dublă; 10 — galerie de ocol; 11 — direcțională în culcuș; 12 — transversală principală; 13 — jomp; 14 — haldă.

aceasta la echidistanța de 25—50 m, din loc în loc, se sapă galerii transversale scurte (nișe), care traversează zăcămintul pe grosime.

Pentru cercetarea zăcămintului în adîncime, când acesta nu mai poate fi deschis la nivelele respective prin galerii de coastă, se sapă un puț orb sau de la zi de explorare, în culcușul zăcămintului, din care se continuă explorarea acestuia prin galerii transversale și direcționale (fig. XI.27).

Forma și dimensiunile galeriilor de explorare. Profilul galeriilor poate să fie: trapezoidal (fig. XI.28), boltit, sub formă de potcoavă, circular, în funcție de natura rocilor și felul susținerii.

După secțiune (v. tabelul XI.2), galeriile de explorare se pot împărți în trei categorii:

— galerii cu secțiune mică, de 2,30—5,60 m²;

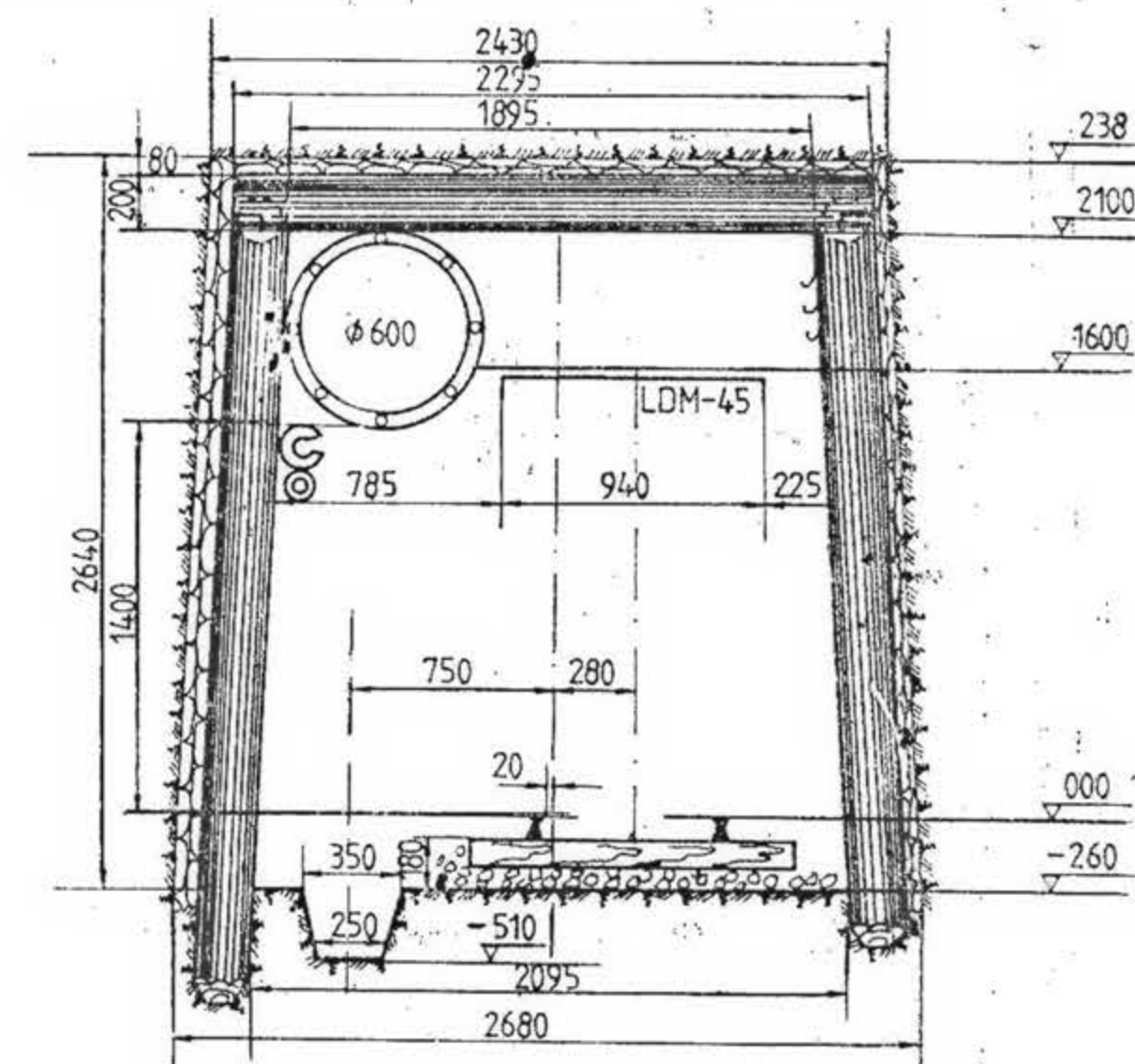


Fig. XI.28. Galerie de explorare G4L — 6,80 m², cu profil trapezoidal, susținută în lemn.

— galerii cu secțiune mijlocie, de 6,20—9,30 m²;

— galerii cu secțiune mare (duble), de 9,40—18,30 m²

Galeriile din ultimele două categorii se execută în cazurile când acestea au lungimi de peste 500 m și se prevede folosirea lor și în lucrările de exploatare.

După natura formațiunilor geologice în care se sapă, galeriile pot fi susținute și nesusținute.

Alegerea profilului de săpare a galeriilor de explorare. Factorii principali care determină alegerea profilului de săpare a unei galerii sînt:

— volumul transportului;

— gabaritul (dimensiunile maxime) locomotivelor și al vagonetelor cu care urmează să se facă transportul;

— aerajul lucrărilor miniere;

— modul de susținere;

— gabaritul celor mai mari piese din mașinile ce urmează a se monta în subteran;

— viteza de săpare a galeriei respective;

— normele de tehnica securității muncii.

Calculul secțiunilor transversale ale galeriilor se face în funcție de forma profilului.

Pentru galerii de explorare s-au elaborat *proiecte tip* care se deosebesc prin formă, mărimea secțiunii și felul susținerii galeriilor etc. Aceste proiecte tip prezintă o mare importanță, prin faptul că în prezent toate lucrările miniere respectă aceleași principii, ceea ce face posibilă standardizarea mijloacelor de transport; experiența obținută la un șantier sau la o mină, la săparea galeriilor, poate fi extinsă la toate celelalte etc.

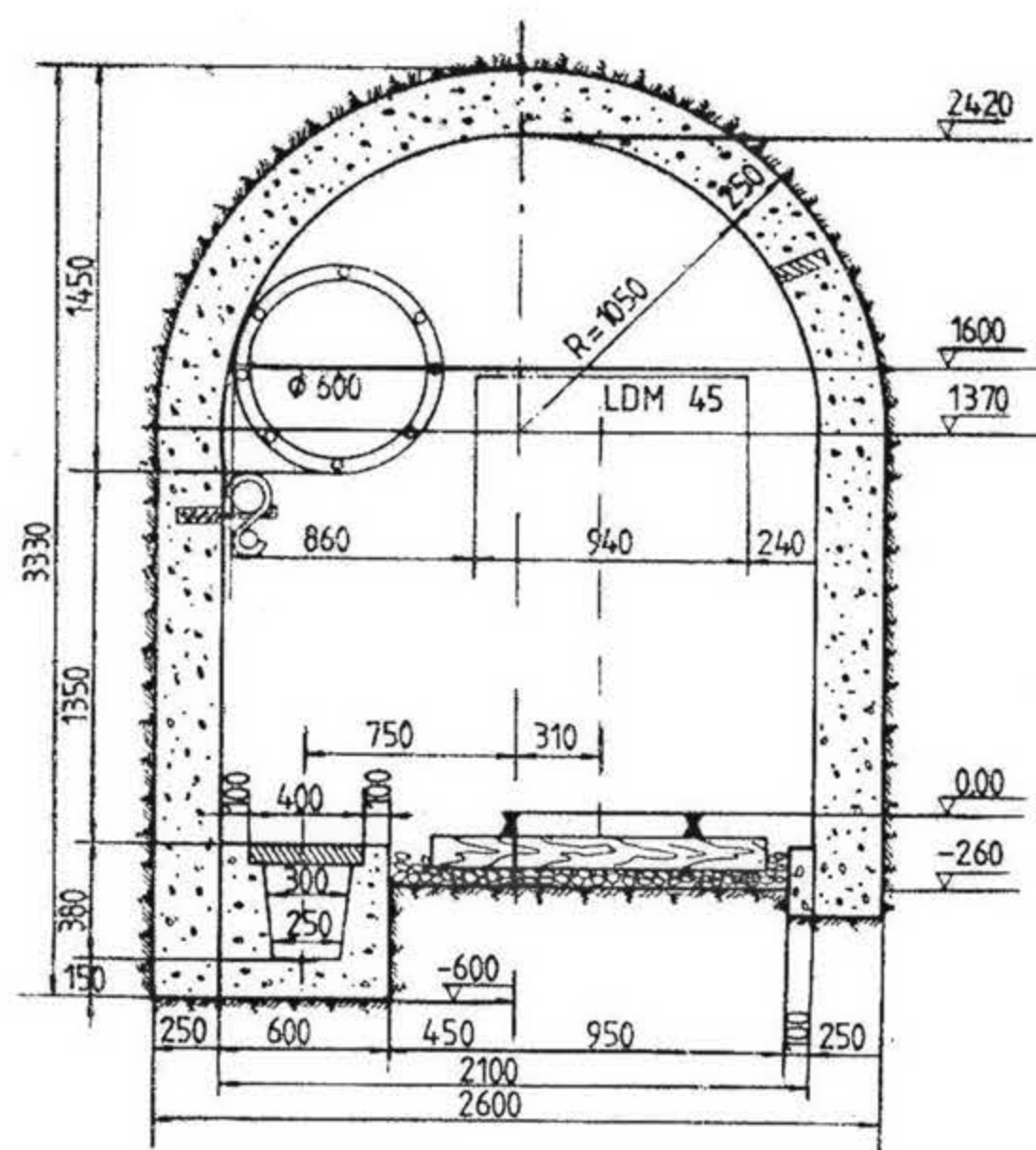


Fig. XI.29. Galerie de explorare (G5B—7,30 m², cu profil boltit, susținută în beton.

Din examinarea profilelor tip (fig. XI.28, XI.29 și XI.30) se constată următoarele elemente comune:

— Ecartamentul prevăzut pentru toate galeriile este de 600 mm, 630 mm și 750 mm, în funcție de capacitatea vagonetelor și a locomotivelor.

— Distanța între vagonete sau locomotivă și peretele galeriei pe partea unde nu circulă personalul este de 200 mm la galeriile nesusținute și la cele susținute cu boltari sau în beton. În galeriile susținute în lemn această distanță este de 250 mm.

— Distanța dintre locomotivă și perete, în partea galeriei pe unde circulă personal, este de 600 mm pentru galeriile nesusținute sau zidite, prin care circulă trenuri cu o viteză mai mică de 6 km/h, și de 750 mm, pentru galeriile susținute în lemn. Pentru galeriile principale de transport, unde trenurile circulă cu viteze mai mari de 6 km/h, această distanță este de 800 mm.

— Înălțimea minimă admisă a unei galerii, de la coroana șinei la tavan, este de 2 000 mm la galeriile simple, susținute cu lemn, pe care nu se face transportul cu loco-

motive electrice cu troleu. Dacă transportul se face cu locomotive electrice cu troleu, înălțimea minimă de la coroana șinei la troleu este de 2 200 mm.

— Înclinarea pereților galeriilor cu profil trapezoidal este de 125 mm/m.

— Panta galeriilor poate varia între 2 și 6%. Dacă pe aceeași galerie se face și transport de rambleu în sens invers transportului de minereu sau de cărbuni, panta nu trebuie să depășească 2%. În ceea ce privește canalele pentru evacuarea apelor, este necesar ca viteza apei să nu fie sub 0,25–0,50 m/s și să nu depășească 1,8–

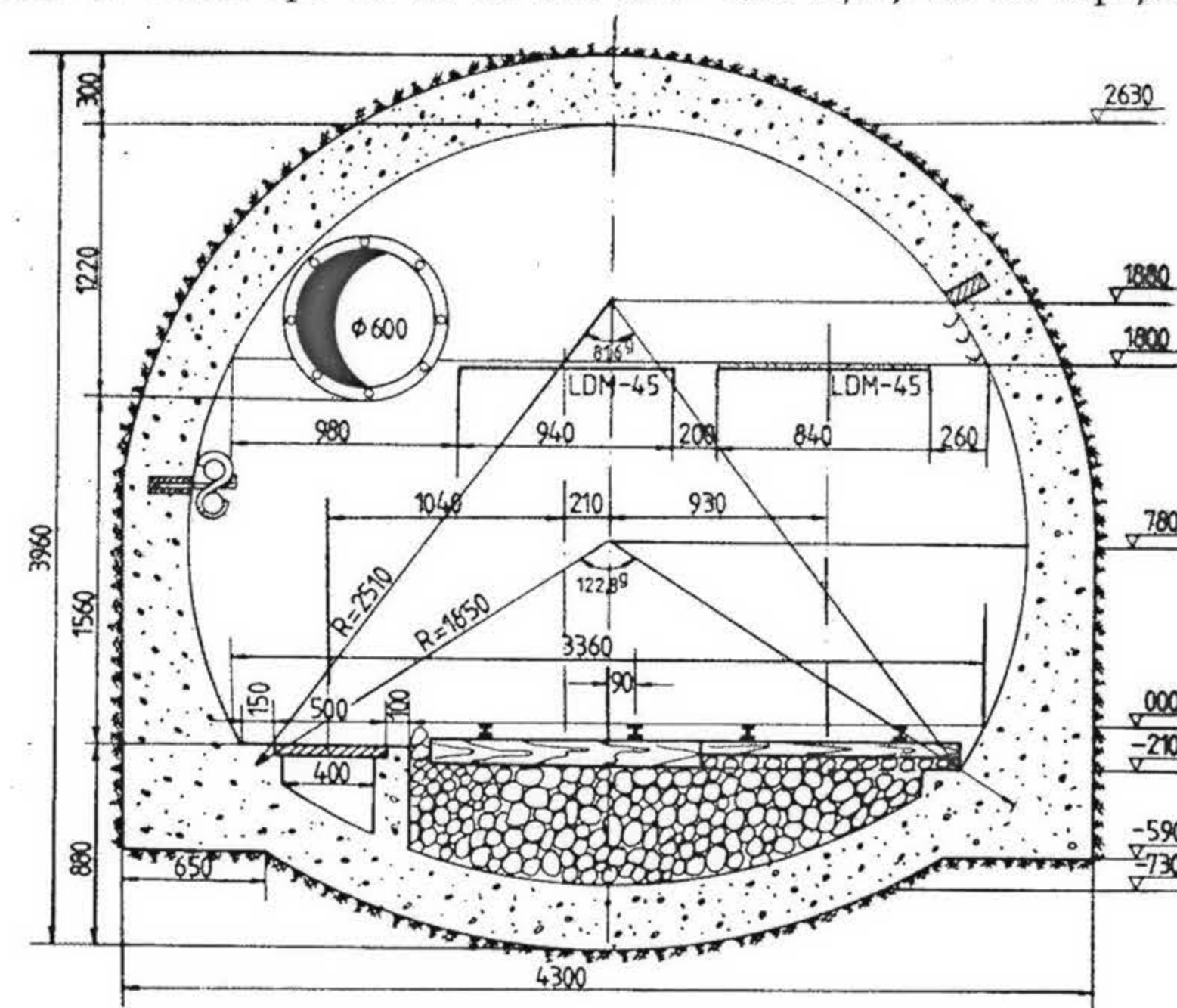


Fig. XI.30. Galerie de explorare dublă G7Bv—14,00 m², cu vatră închisă, susținută în beton.

2,5 m/s în roci moi și de tărie medie și 3,5–4,5 m/s în roci tari. Înclinarea pereților canalului poate varia între 1/2 și 1/4, după tăria rocilor.

Săparea galeriilor se face prin *metode obișnuite*, când rocile sînt stabile și nu există o afluență prea mare de apă, și prin *metode speciale*, în cazul rocilor nestabile, slabe și cu afluență mare de apă.

Săparea și susținerea galeriilor de explorare cu metode obișnuite. Operațiunile principale ale procesului de săpare a unei galerii de explorare sînt:

- excavarea rocilor;
- încărcarea și evacuarea materialului extras;
- susținerea lucrării, cînd natura rocilor în care se sapă necesită susținere.

Operațiunile secundare ce survin în procesul săpării constau în montarea conductelor de aeraj a conductelor și cablurilor electrice pentru alimentarea utilajelor din frontul de lucru cu apă, aer comprimat și energie electrică, probarea frontului de lucru, cartarea geologică și ridicarea topografică a lucrării etc.

— **Săparea.** Executarea săpării oricărei lucrări miniere se face pe baza unui proiect de explorare care trebuie să prevadă în mod obligatoriu: necesitatea lucrării miniere respective, amplasamentul ei în funcție de scopul urmărit și de condițiile locale, dimensiunile lucrării (formă, secțiune, lungime), alegerea procedurii de săpare și de evacuare, cu indicarea și justificarea elementelor de săpare ca: profil de săpare, alegerea utilajului și stabilirea necesarului de utilaj, organizarea desfășurării procesului săpării (componența echipei de lucru, graficele de lucru etc.).

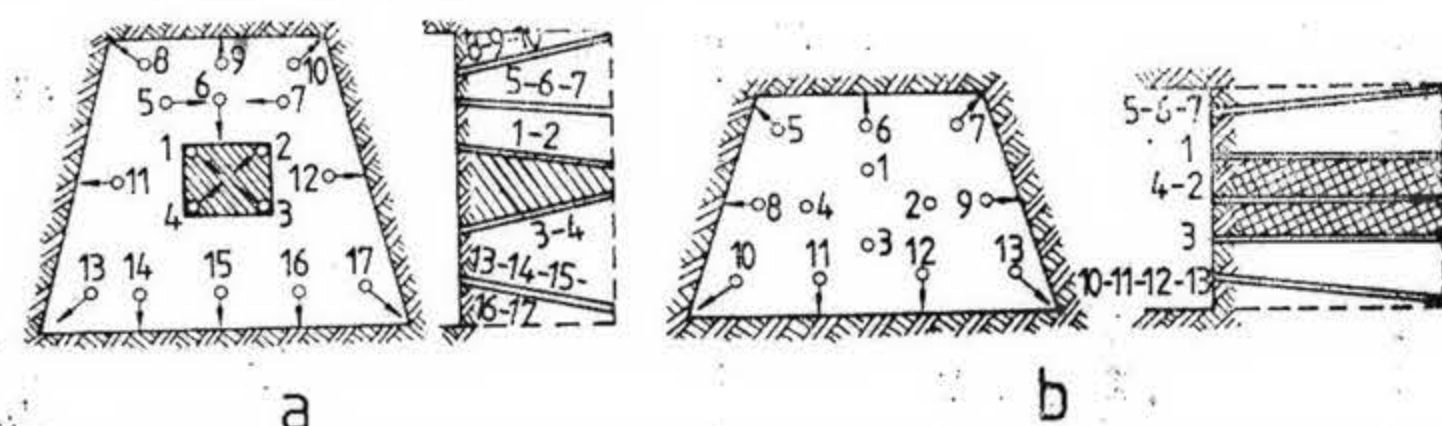


Fig. XI.31. Scheme de amplasare a găurilor în frontul galeriei:

a — cu simbur piramidal; b — cu simbur prismatic.

Viteza de înaintare, consumul specific, ca și alți indicatori sînt foarte mult influențați de modul cum sînt plasate găurile în front, de distanța dintre ele și de înclinarea lor.

Găurile folosite pentru realizarea unui avans al frontului de săpare al unei galerii de explorare sînt de trei feluri:

— **găuri de simbur** sau de **degajare**, care se împușcă în primul rînd și au rolul de a produce o suprafață liberă (în fig. XI.31 a și b, găurile numerotate: 1, 2, 3, 4);

— **găuri de lărgire** care explodează după găurile de simbur și produc ruperea masivă în front, folosind suprafețele libere create de găurile de simbur (în fig. XI.31, a, găurile numerotate: 5, 6, 7);

— **găuri de profilare**, care se împușcă la urmă și au rolul de a da lucrării miniere forma dorită (în fig. XI.31, a, găurile numerotate: 8...17).

După direcția găurilor de mină față de suprafața frontului de săpare, se deosebesc trei tipuri principale de simbur de explodare folosiți la săparea galeriilor de explorare:

— **Simbur unilateral.** Se caracterizează prin aceea că toate găurile de mină care conturează simburul au înclinarea în aceeași parte a frontului de săpare: lateral, spre tavan (superior) sau spre vatră (fig. XI.32).

Săparea cu simbur laterali se folosește în cazul rocilor stratificate cu înclinare mare și cînd lucrarea se execută de-a lungul contactului a două formațiuni geologice. Găurile sînt dirijate lateral, spre contactul dintre roci.

În celelalte cazuri se practică simburul unilateral superior, dacă stratificația înclină către sensul de săpare a lucrării, sau simburul unilateral inferior, cînd stratificația înclină spre frontul de lucru.

— **Simbur convergenți.** La aceștia găurile se execută convergent, de regulă cu înclinarea spre axul longitudinal al lucrării miniere (fig. XI.33). Pot fi de mai multe feluri:

— **simbur piramidal** (fig. XI. 33, a), frecvent folosit în roci omogene și la galerii cu secțiune mică, sub 6 m²;

— **simbur pană verticală** (fig. XI 33, b), folosit la săparea galeriilor cu secțiune mai mare de 6 m².

— **Simbur cilindrici.** Găurile de mină se perforează perpendicular pe suprafața frontului și sînt paralele între ele. Dintre găurile perforate, unele nu se încarcă cu exploziv (fig. XI.34) fiind **găuri pasive**, ele avînd rolul de a crea suprafețe libere pentru celelalte găuri.

După aranjamentul găurilor active și pasive, se folosesc:

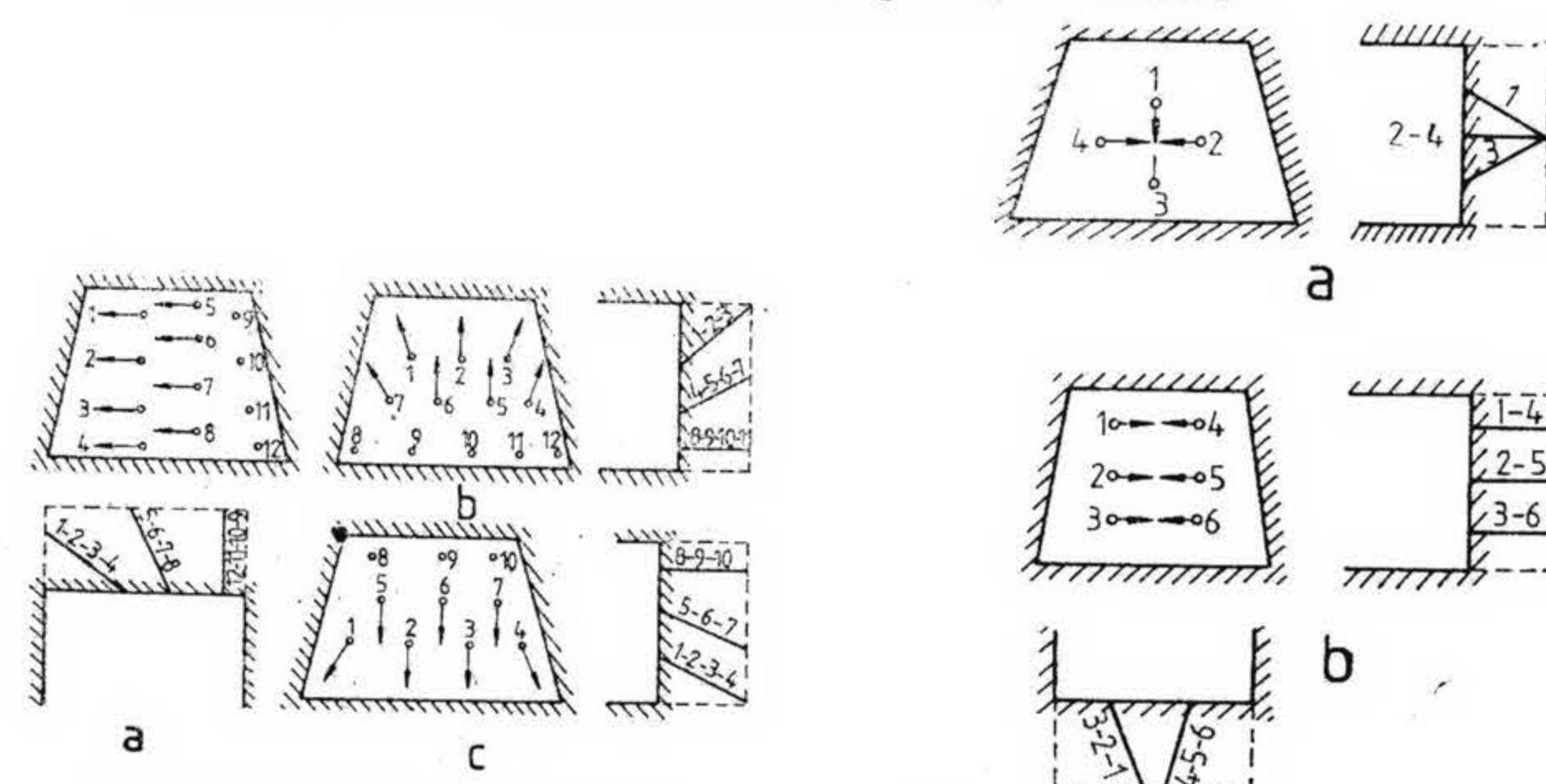


Fig. XI.32. Simbur unilateral:

a — simbur lateral; b — simbur unilateral superior; c — simbur unilateral inferior.

— **simbur trifoi** (fig. XI.34, a), cu trei sau patru găuri active și una pasivă (se aplică la săparea în roci plastice sau în gresii);

— **simbur prismă** (fig. XI.34, b) care constă din șiruri de găuri active, alternînd cu găuri pasive, sau din găuri active și pasive ce alternează pe același șir (se aplică la săparea în roci tari și foarte tari).

Fig. XI.33. Simbur convergenți: a — simbur piramidal; b — simbur pană verticală.

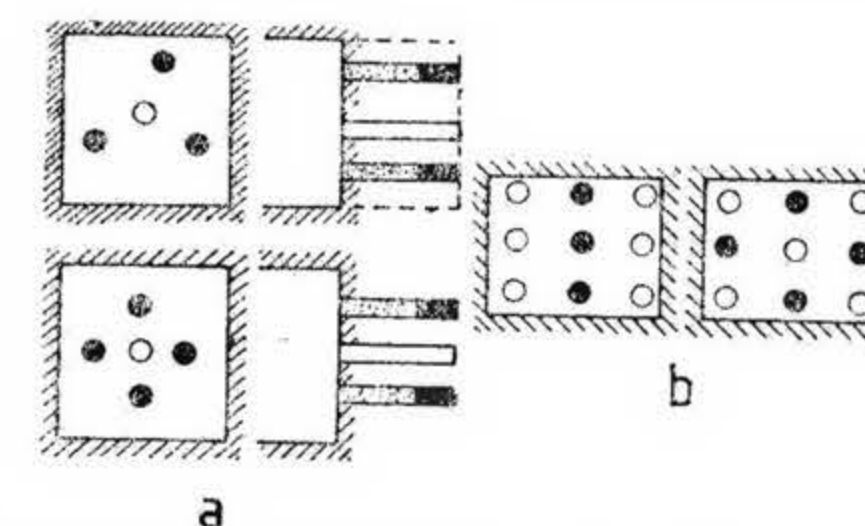


Fig. XI.34. Simbur cilindrici.

Evacuarea materialului din frontul de lucru constă din sfărîmarea bucăților mari de rocă, încărcarea materialului în vagonete și transportul lui pînă la puț, pînă la galerie principală de transport sau direct pînă la gura galeriei și de aici la haldă. Încărcarea din frontul de lucru în vagonete se face manual sau mecanic.

La încărcarea manuală productivitatea este influențată de înălțimea de încărcare de distanța de aruncare cu lopata, de starea vetrei, de starea materialului împușcat etc.

Dacă pe vatră se așază foi de tablă de oțel (groase de 3–6 mm) înainte de împușcare, productivitatea de încărcare crește cu 25–20% față de încărcarea de pe vatră obișnuită.

Productivitatea la încărcare variază între 3 și 5 m³ pe schimbul de 8 ore.

Încărcarea mecanică se poate face cu screperul sau cu mașini de încărcat.

Încărcarea materialului cu screperul se poate aplica chiar și în galeriile cu profil mic, de 3–4 m², realizându-se o productivitate medie de 4–5 m³/h. Screperul poate fi folosit cu succes când materialul de încărcat se prezintă sub formă de bucăți mai mari.

Încărcarea cu mașini de încărcat este frecvent folosită pe șantierul de explorare (v. tabelul XI.2). Se folosesc, în mod obișnuit, mașinile cu încărcare discontinuă care constau în principiu din: căruciorul cu roți, care circulă pe șenile; platforma așezată pe o placă turnantă, care permite rotirea mașinii; culisa basculantă cu lingură; dispozitivul de acționare compus din motoare pneumatice sau dintr-un singur motor electric.

Aceste mașini se întrebuintează la lucrările miniere ce se sapă în roci tari. Ele pot încărcă bucăți de rocă de 300–350 mm.

Pentru a asigura evacuarea materialului din frontul de lucru, este necesar ca distanța de la front pînă la linia ferată să fie cît mai mică.

Încărcarea unui vagonet cu ajutorul mașinii de încărcat durează 1–3 min, iar îndepărtarea manuală a vagonetului plin și aducerea altui vagonet gol poate dura un timp mai mare. Din această cauză manevrarea vagonetelor pline și a celor goale trebuie făcută repede, prin folosirea anumitor dispozitive și prin organizarea perfectă a lucrărilor, aplicînd diverse scheme de manevrare a vagonetelor.

O altă posibilitate de scurtare a timpului de manevră a vagonetelor, atunci cînd se folosește mașina de încărcat, este de a instala, după mașina de încărcat, un transportor mobil cu raclete. Aceasta permite introducerea sub el a întregului tren gol. În acest scop, transportorul este fixat la înălțimea potrivită, materialul ridicat de mașina de încărcat cade pe transportor, iar trenul de vagonete este tras de locomotivă pe măsură ce vagonetele sînt pline.

Condițiile principale de protecție a muncii care trebuie îndeplinite la săparea lucrărilor miniere sînt:

- asigurarea unui aeraj cît mai bun;
- reducerea conținutului de praf de siliciu;
- asigurarea unui iluminat cît mai bun.

Aerajul frontului de lucru, în timpul săpării galeriei de explorare, se face cu instalații de aeraj secundar formate din tuburi de aeraj și ventilatoare axiale montate în coloane de tuburi.

Tuburile sînt confecționate din tablă zincată, pînă cauciucată sau din material plastic, cu diametre de 300 mm sau mai mari. Se folosesc trei sisteme de aeraj secundar: *aspirant*, *refulant* și *mixt* (fig. XI.35).

Cel mai utilizat este sistemul de *aeraj aspirant*, care prezintă avantajul captării gazelor din front și împiedică răspîndirea acestora pe traseul galeriei. În galeriile de explorare de lungime mare, în coloana de tuburi de aeraj se montează o serie de ventilatoare. Al doilea ventilator se așază la o distanță de 0,3–0,4 din lungimea de aspirație l a primului ventilator (cel mai apropiat de front).

Debitul de aer necesar aerisirii frontului de lucru în cazul aerajului aspirant, refulant și mixt se determină cu relațiile:

– pentru aerajul aspirant

$$Q_a = 0,6 \frac{Sl}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} = 0,6 \frac{V_1}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} [\text{m}^3/\text{min}];$$

– pentru aerajul refulant

$$Q_r = 5 \frac{SH}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} = 5 \frac{V_2}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} [\text{m}^3/\text{min}];$$

– pentru aerajul mixt

$$Q_m = 0,5 \frac{V_3}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} [\text{m}^3/\text{min}],$$

în care: V_1 este volumul zonei inițiale a gazelor toxice, m³;

V_2 – volumul galeriei (puțului) în săpare, m³;

V_3 – volumul galeriei de la digul D la frontul de săpare, m³;

t – durata aerajului după explozie, 20–30 min;

S – aria transversală a galeriei, m²;

C_1 – concentrația inițială de gaze toxice, recalculate în CO convențional, %;

C – concentrația maximă de CO convențional admis în aerajul ce iese din galerie (0,02%).

Eliminarea prafului din frontul de lucru se realizează prin perforare, în mod obligatoriu numai cu injecție de apă.

În locurile de muncă cu praf de silice trebuie aplicat aerajul aspirant.

Intensitatea luminoasă a lămpii în locul de muncă trebuie să fie de 15–25 lx.

– **Susținerea** se face cu lemn (v. fig. XI.28), iar în cazul presiunilor mari și cînd galeriile au o durată mai mare de existență se pot folosi pentru susținere beton (v. fig. XI.29 și XI.30), zidărie, prefabricate de beton, susțineri metalice sau o combinație a acestora.

Susținerea în lemn Lemnul este folosit și în prezent pe scară largă la susținerea galeriilor de explorare de scurtă durată. Acest fapt se datorează calităților favorabile ale lemnului, ca material de susținere: se fuzionează ușor, nu se rupe brusc, avînd o mare elasticitate, iar costul inițial al susținerii în lemn este mai redus decît al susținerii în beton sau al celei metalice. Lemnul însă putrezește ușor în atmosfera din subteran, se recuperează greu și nu mai poate fi refolosit în aceleași condiții.

Forma cadrelor întrebuintate la susținerea galeriilor diferă după mărimea și orientarea presiunii. Se întrebuintează *cadre simple*, cînd unei laturi a profilului lucrării miniere îi corespunde o grindă sau un stîlp, și *cadre complexe*, cînd susținerea tavanului, a vetrei sau a pereților se execută din mai multe elemente poligonale.

După cum perimetrul lucrării este susținut integral sau nu, se deosebesc cadre *închise* și cadre *deschise*.

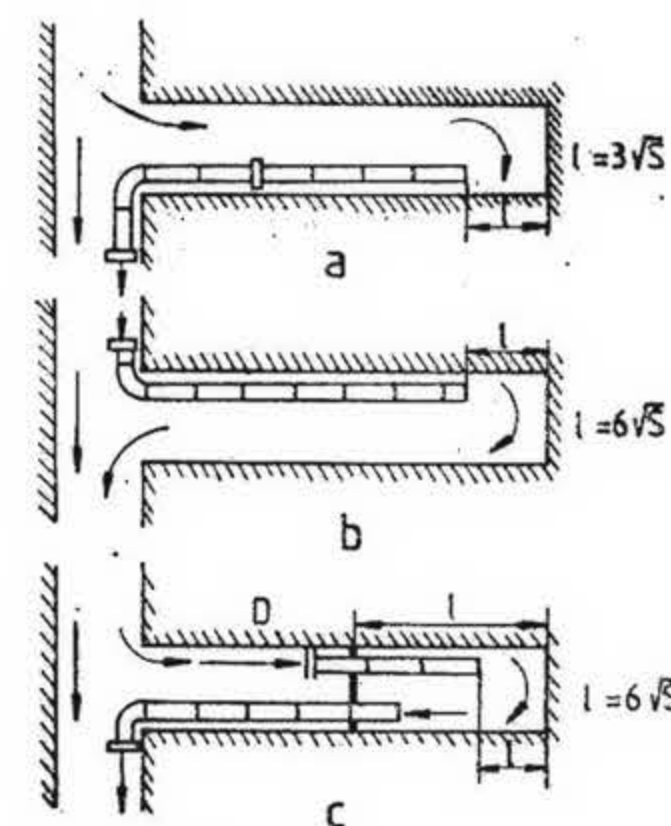


Fig. XI.35. Scheme de aeraj la săparea galeriilor:
a – aspirant; b – refulant; c – combinat.

Dintre cadrele simple, cel mai folosit este *cadrul trapezoidal deschis* (v. fig. XI.28), compus dintr-o grindă și doi stâlpi uniform înclinați. Dacă sînt presiuni și din vatră (talpă), se așază și aici o grindă, cadrul devenind un *cadru trapezoidal închis* (fig. XI.36). În cazul presiunilor importante, diferitele elemente ale cadrelor se întăresc cu *contrafișe* sau cu *grinzi suplimentare (juguri)*, așezate după direcția lucrării (fig. XI.37). În funcție de rezistența rocilor din acoperiș sau pereți se folosesc *cadre incomplete* (fig. XI.38).

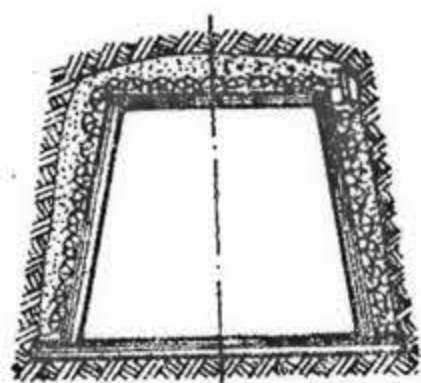


Fig. XI.36. Cadru trapezoidal închis.

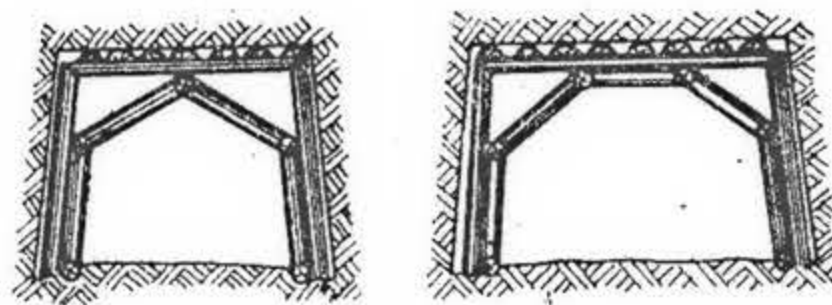


Fig. XI.37. Cadre trapezoidale întărite.

În cazul presiunilor mai mari, care acționează din toate părțile, se întrebunțază cadrele poligonale (cu 5, cu 6 sau cu 8 laturi).

Îmbinarea bună a elementelor cadrului constituie o condiție esențială a calității susținerii. Se întrebunțază în mod curent *îmbinarea în dinte sau prag* (fig. XI.39, a, b, c) și *îmbinarea în scobitură (șor)* (fig. XI.39, d). Îmbinarea în dinte se folosește atunci cînd există și presiuni laterale, iar îmbinarea în scobitură se folosește în cazul presiunilor mari de tavan.

La îmbinarea contrafișelor cu grinda și cu stâlpii se folosesc și scoabe de oțel care întăresc îmbinarea.

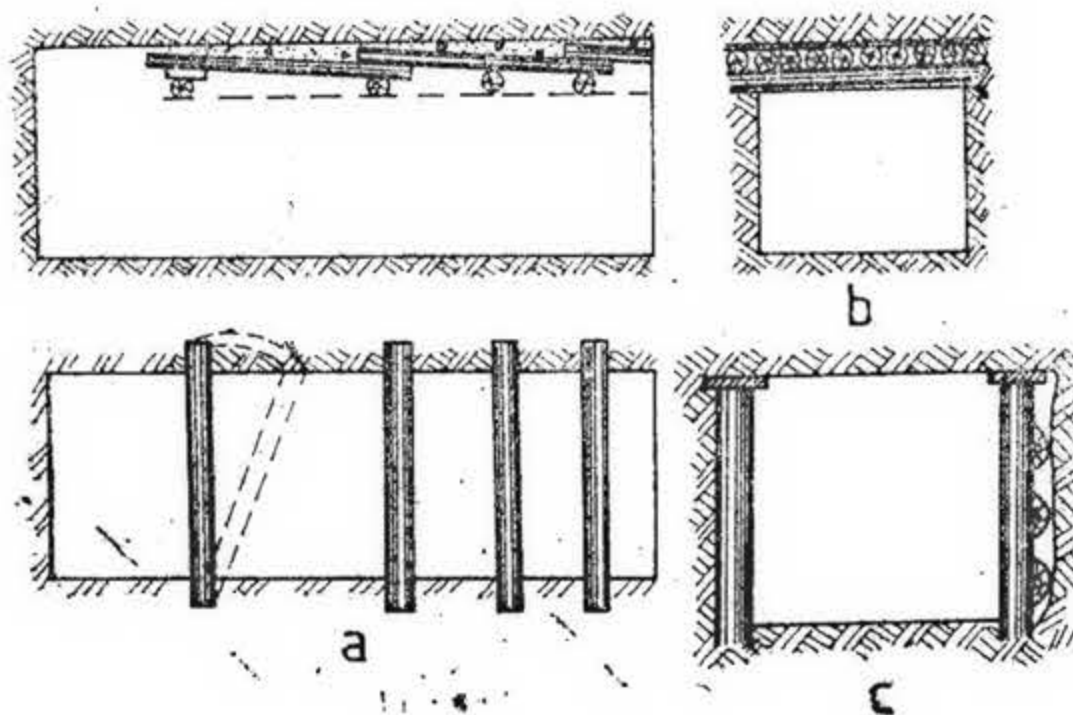


Fig. XI.38. Cadre incomplete: a și b — numai grinzi; c — numai stâlpi.

Cadrele descrise mai sus sînt *cadre rigide*, adică nu cedează decît foarte puțin la presiuni mari.

Pentru a evita distrugerea cadrelor în perioada de exercitare a presiunii primare, se construiesc *cadre elastice*. Acestea permit deformări mai mari ale profilului lucrării, fără a se distruge elementele cadrului, datorită ascuțirii mai pronunțate a capetelor stîlpilor.

Susținerea de zidărie a lucrărilor miniere de explorare se utilizează în cazul unor presiuni mari, care distrug susținerea în lemn.

Ca materiale pentru susținerea în zidărie se întrebunțază *piatra naturală cioplită* și *betonul (turnat sau sub formă de prefabricate)*.

— Pentru zidăria de piatră se folosesc pietre de construcții rezistente. În general se întrebunțază andezitul, granitul, bazaltul etc., și mai rar calcarul compact.

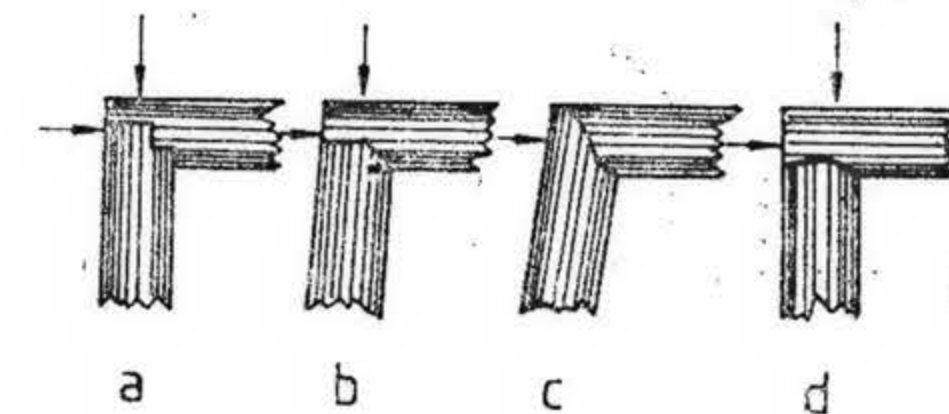


Fig. XI.39. Îmbinarea între grinzi și stâlpi.

Blocurile de piatră se fasonază în carieră pentru a evita transporturile inutile și pentru că în carieră munca se poate organiza mai bine, realizîndu-se o productivitate mai ridicată decît în subteran. Blocurile pentru zidăria pereților se cioplesc în formă de paralelipiped, iar cele pentru boltă în formă de pană.

— Betonul este un amestec de ciment, pietriș, nisip și apă, în anumite proporții. Pietrișul și nisipul nu suferă nici o transformare chimică și au rolul de umplutură în masa betonului.

Rezistența la compresiune a betonului (marca) depinde în primul rînd de cantitatea de ciment introdusă la 1 m³ de beton și de cantitatea de apă liberă neabsorbită a materialului inert.

Această rezistență (R_B) se calculează cu formula:

$$R_B = 0,5 R_c \left(\frac{c}{a} - 0,5 \right) \text{ [daN/cm}^2\text{]},$$

în care: R_c este rezistența la compresiune a cimentului, daN/cm²;

c — cantitatea de ciment, kg;

a — cantitatea de apă liberă, l.

Calitatea betonului depinde și de nisipul și pietrișul folosit. Cel mai bun nisip este cel cuarțos, cu grăunți de 0,15—0,5 mm diametru. Este bine ca pietrișul să aibă muchii și colțuri neregulate, cum este cel provenit prin concasare.

Cantitatea de apă necesară variază între 78 și 85 l apă/m³ pentru beton uscat și 90—120 l apă/m³ pentru beton plastic.

— Blocurile de beton prefabricate, denumite *betonite* sau *boltari*, se întrebunțază pe scară din ce în ce mai largă, prezentînd o serie de avantaje importante: se fabrică la suprafață, zidirea este simplă și se poate realiza repede. În majoritatea cazurilor, blocurile de beton au formă de pană simplă. Se construiesc însă și betonite cu forme speciale.

Betonitele se fabrică din beton de diferite mărci, după mărimea presiunilor. În unele cazuri se folosesc blocuri de beton armat.

Susținerea metalică a galeriilor de explorare se folosește în cazul unei durate de serviciu mai mare a lucrării miniere, atunci cînd presiunea este și ea mai mare. Deși necesită cheltuieli inițiale mai mari, susținerea metalică are multe avantaje în

comparație cu alte moduri de susținere, și în special față de susținerea în lemn: ocupă spațiu mic, nu arde, are durată mare de serviciu, se poate recupera etc.

După modul de comportare la presiuni a susținerii metalice se disting susțineri *rigide, semirigide, elastice*.

Ca formă, sistemele au evoluat, folosindu-se la început cadre metalice rigide trapezoidale, după care s-a introdus susținerea cu cadre metalice în arc sau susținere cu cindre metalice.

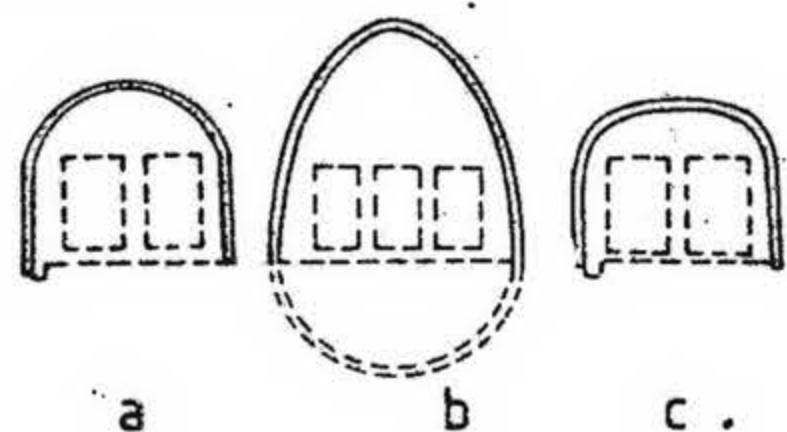


Fig. XI.40. Cindre rigide:
a — în arc de cerc; b — în ogivă; c — în boltă de mică înălțime elastică

Susținerea cu *cindre metalice* a înlocuit aproape complet susținerea cu cadre trapezoidale.

O cintră metalică este formată din mai multe elemente asamblate între ele prin dispozitive speciale, alcătuind astfel un cadru de susținere în formă de arc. Pentru presiuni normale și uniform repartizate, forma ideală o constituie cintră circulară închisă.

La susținerea cu cindre metalice, modul de susținere poate să fie *rigid*, folosind cindre rigide, sau *elasic*, folosind cindre culisante.

— *Susținerea cu cindre rigide*. În galeriile sau planele înclinate în care nu sînt mișcări de terenuri, susținerea sub formă de arc, formată din cindre rigide (fig. XI.40) care sub influența presiunii rocilor nu își modifică forma, rezistă mult mai bine decît un cadru metalic trapezoidal.

Elementele unei cindre rigide se construiesc din șine vechi sau din profile de oțel dublu T. Șinele vechi se așază cu coroana în afară, astfel ca talpa șinelor să susțină bandajele. Îmbinarea se face cu eclise și cu șuruburi. Pentru secțiuni mici de galerie se adoptă cindre formate din două elemente îmbinate la partea de sus a bolții. Pentru secțiuni mari, elementele cindreii sînt de lungimi aproape egale. Pentru asigurarea stabilității susținerii, între cadrele metalice se bat *strîngători* orizontale de lemn rotund de stejar și, în unele cazuri, cindrele se reunesc prin bucăți de oțel rotund (oțel beton) sudate, formînd astfel un grilaj care susține bandajele dintre pereții galeriei și cadrele metalice.

— *Susținerea cu cadre culisante*. Cindrele culisante (fig. XI.41) asigură o susținere metalică elastică, adică o susținere care permite, sub influența presiunii rocilor să se modifice dimensiunile secțiunii transversale a lucrării miniere și o deformare a elementelor pînă la o anumită limită, fără ca cindrele să-și piardă capacitatea lor portantă.

Pentru asigurarea elasticității se folosesc îmbinări între elemente care să permită o culisare a acestora. La majoritatea tipurilor, legătura culisantă se realizează prin îmbucarea a două elemente ale cindreii, solidarizate cu ajutorul unor brățări prevăzute cu șuruburi la capete (fig. XI.41, a).

O cintră simplă foarte răspîdită este tipul *Toussaint-Heintzmann* sau *TH*, cu legături culisante (fig. XI.42).

Cele mai folosite sînt profilele TH de 21 kg/m. Modul cel mai obișnuit de cintră culisantă TH este cel în potcoavă, compus din trei bucăți: o coroană la partea superioară și două picioare laterale, care se petrec peste coroană cu 40 cm. În cazul umflării vetrei se folosește cintră circulară compusă din patru bucăți, adăugîndu-se o talpă cu legături identice. În cazuri rare se folosesc și cindre formate din cinci elemente. Susținerea cu cadre metalice inelare cu patru sau cinci elemente se folosește, în general, atunci cînd există presiuni mari în toate direcțiile.

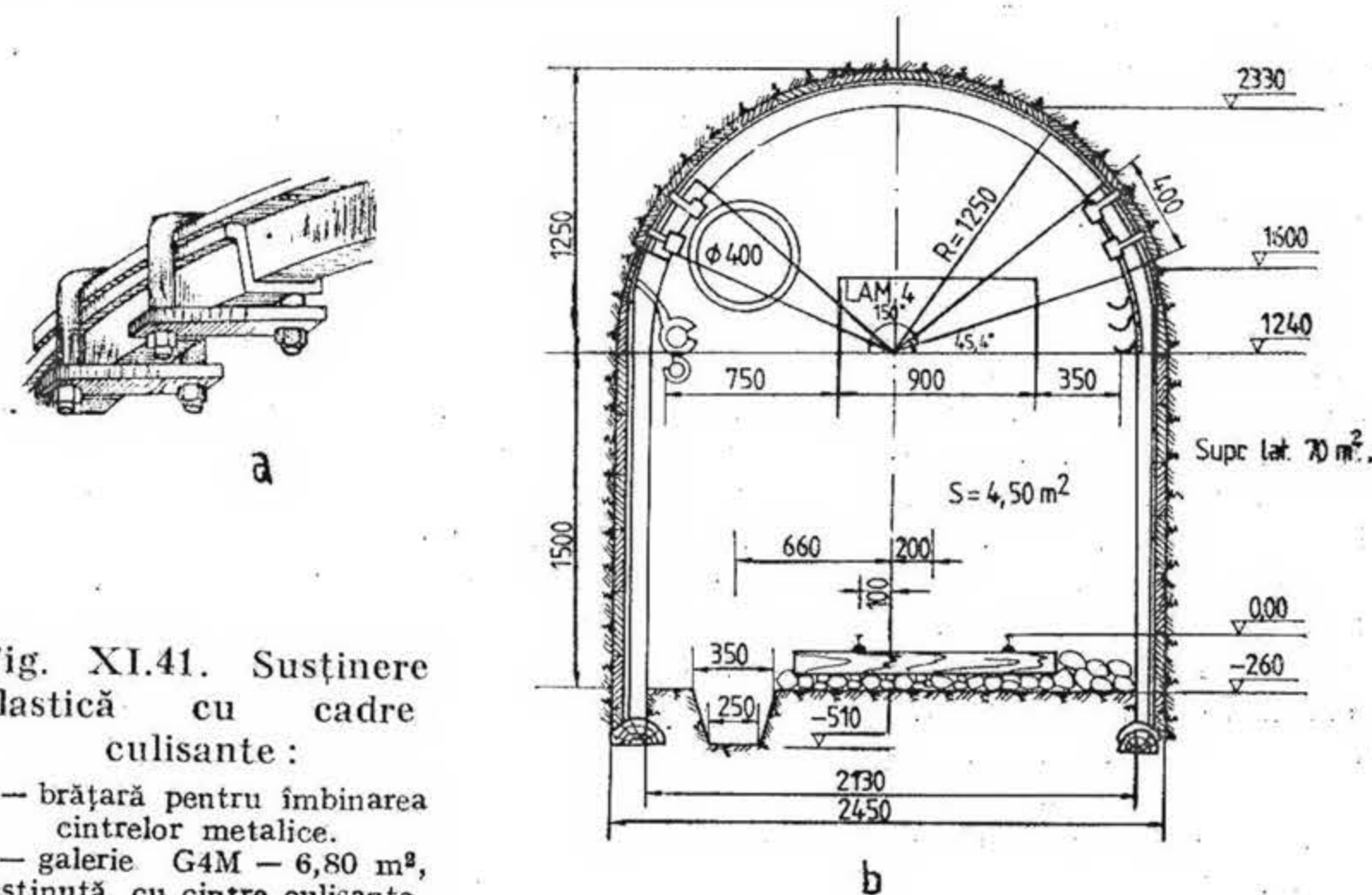


Fig. XI.41. Susținere elastică cu cadre culisante:
a — brățară pentru îmbinarea cindrelor metalice.
b — galerie G4M — 6,80 m², susținută cu cindre culisante.

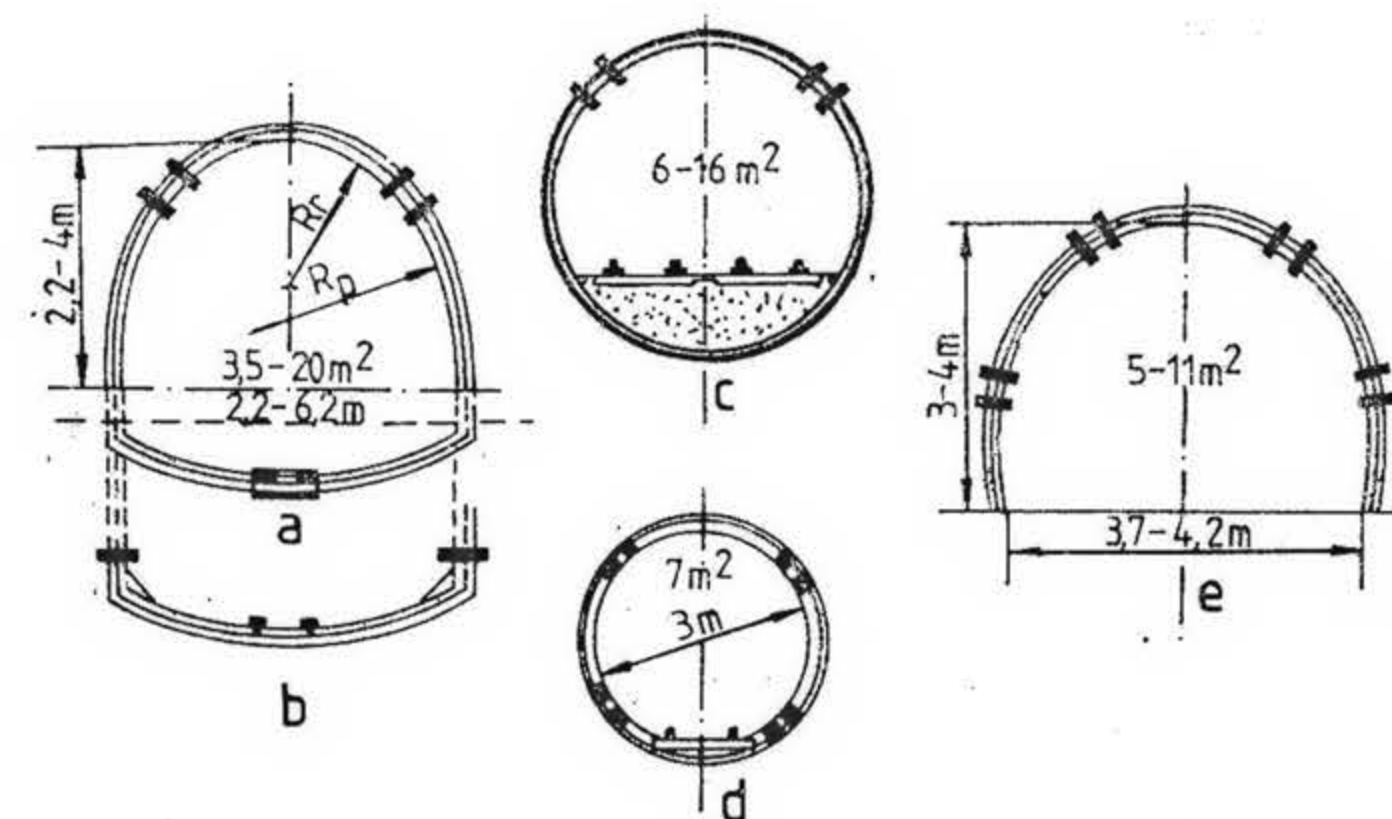


Fig. XI.42. Cindre Toussaint — Heintzmann:
a — cu talpă articulată; b — cu talpă încastrată; c — circulare pentru cale dublă; d — circulare pentru cale simplă; e — din cinci elemente.

Susținerea ancorată. În ultimii ani se mai aplică și susținerea ancorată, la susținerea tavanului și pereților galeriilor.

Metoda constă în forarea unor găuri de mină în tavan, în care se introduc tije metalice ce se fixează în fundul găurii cu ajutorul unor dispozitive, iar la capătul rămas afară se fixează o placă, cu ajutorul unei piulițe (fig. XI.43).

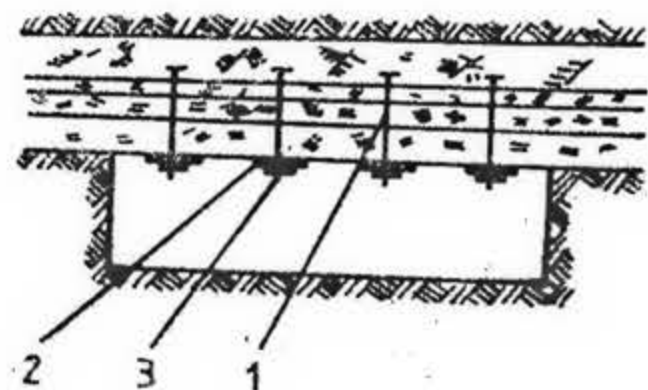


Fig. XI.43. Schema susținerii ancorate:

1 - tija ancorei; 2 - placă metalică; 3 - piuliță.

Dacă în tavan sînt roci stratificate care prezintă planuri de șistozitate de minimă rezistență, cînd nu sînt susținute, fiecare strat se încovoie (sub acțiunea greutății), relativ independent de cele de deasupra lui. Strîngînd cu ajutorul ancorelor întregul pachet de strate, acestea nu mai pot acționa independent, fapt care împiedică surparea tavanului. Lungimea tijelor de ancorare variază între 1,5 și 3,0 m. Pe galeriile cu durată lungă de utilizare se întrebuițuează *ancore recuperabile*, adică ancore a căror dispozitiv de fixare constă dintr-un manșon cu zimți exteriori, care își mărește diametrul prin înșurubarea ancorei prevăzute cu o porțiune tronconică; la deșurubarea tijei aceasta rămîne fixată în gaura de mină. Pentru realizarea unei susțineri mai rezistente, pe pereții și tavanul lucrărilor miniere se poate aplica o plasă de sîrmă, simplă sau dublă, care se fixează cu ancore.

Torcretarea constă în depunerea unui strat de beton de 5–30 mm, pe pereții și tavanul galeriilor sau ale altor lucrări miniere. Se efectuează cu ajutorul unor mașini speciale care sînt acționate cu aer comprimat, la o presiune de 2–3,5 daN/cm².

Mașina se alimentează cu un amestec uscat de nisip și ciment, care se omogenizează și apoi este împins, cu ajutorul aerului comprimat, printr-o conductă de refulare, pînă la injectorul de beton. Aici se amestecă cu apă și este proiectat cu o viteză de 130–170 m/s.

Dozajul obișnuit este: 1 parte ciment și 3 părți nisip uscat (4–8% umiditate) și clasat la 5–7 mm, iar apa se adaugă în proporție de 10–20% din greutatea amestecului. Apa trebuie să aibă o presiune mai mare decît a aerului comprimat cu 0,75–1 daN/cm².

Betonul obținut prin torcretare, din cauza vitezei de proiectare, este compact și are o rezistență de compresiune de aproape două ori mai mare decît a betonului obișnuit. Acest beton aderă bine la zidărie veche, la beton vechi, la piatră și chiar la lemn.

În interiorul galeriei se montează calea ferată, conductele de aer comprimat și cablul electric.

Săparea galeriilor de explorare cu metode speciale. În roci dezagregate nestabile, curgătoare etc., săparea galeriilor se face prin metode speciale. În funcție de natura rocilor se aplică următoarele metode speciale:

Metoda de săpare cu palplanșe. Aceasta constă în baterea din aproape în aproape a unor palplanșe (frigări) între grinda ultimului cadru de susținere spre tavan și lateral. Palplanșele se bat unele lîngă altele și formează astfel o căptușeală protectoare la tavan și pereți. Pe măsură ce se bat palplanșele se evacuează și roca din frontul de lucru (fig. XI.44).

Metoda de săpare cu scut. Se aplică în cazul rocilor curgătoare, cînd apare necesitatea susținerii integrale a profilului galeriei: la tavan, pereți, vatră și în front. În felul acesta susținerea folosită are forma unui scut. Pentru extragerea rocii, în scut se fac ferestre care permit curgerea acesteia (fig. XI.45).

Metoda de săpare cu picotaj. Această metodă se aplică la trecerea prin roci curgătoare și acvifere, utilizînd picoți de lemn care se bat înainte în masa rocilor

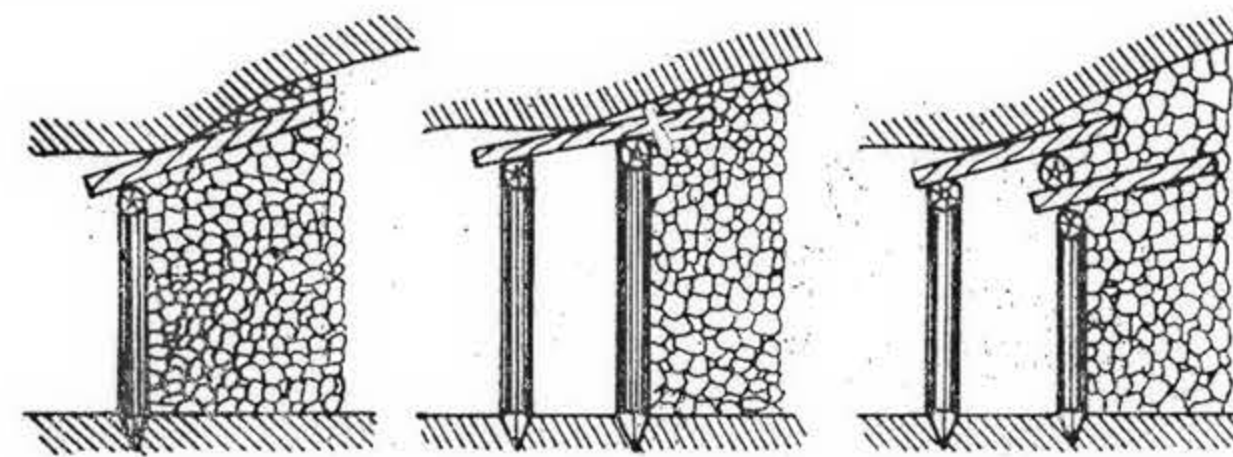


Fig. XI.44. Înaintarea cu palplanșe (faze succesive).

curgătoare (în frontul de lucru și în vatră), asigurîndu-se astfel consolidarea acestora. Printre picoți, care se bat unul lîngă altul pe toată suprafața frontului, se scurg apa și bucățile mai mici de rocă (fig. XI.46).

Documentarea geologică a galeiilor de explorare reprezintă obiectivul principal pentru care acestea se execută. Ca atare, acestei operații trebuie să i se acorde o importanță deosebită.

La documentarea geologică a galeiilor de explorare trebuie urmărite patru etape, după cum urmează:

- ridicarea topografică;
- cartarea geologică;
- stabilirea elementelor spațiale ale corpului de substanțe minerale utile;
- prelevarea probelor.

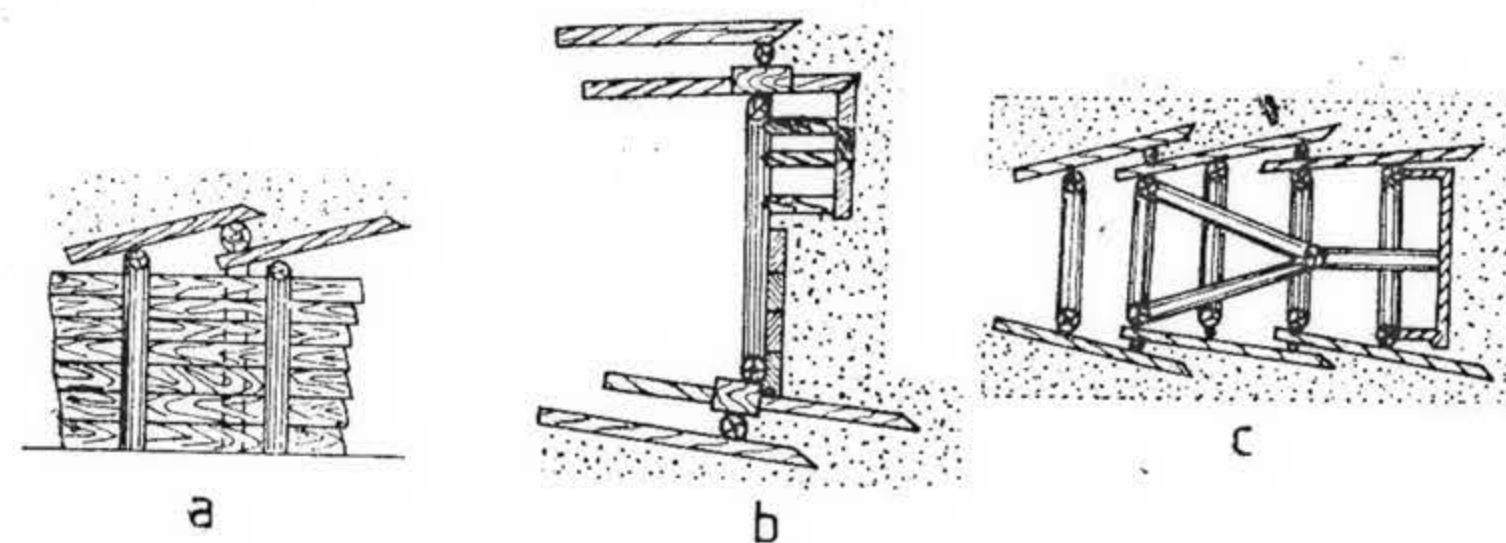


Fig. XI.45. Înaintarea cu scut de lemn:

a - peretele galeriei; b - secțiune verticală în front; c - vatra galeriei

Ridicarea topografică a galeiilor presupune efectuarea măsurătorilor topografice și reprezentarea acestora la scară pe plane și hărți.

Cartarea geologică reprezintă una din operațiile de bază ale documentării geologice și cuprinde două faze distincte: *cartarea desfășurată* și *descrierea desfășurată*.

Cartarea desfășurată se execută pe carnetul de teren, în galerie, după fiecare ciclu de înaintare, înainte de susținerea definitivă. Pe hîrtie milimetrică se desenează la scară: pereții, vatra, tavanul și frontul, sau numai (de regulă) pereții, tavanul și frontul (forma cea mai des înălțată în explorare).

Scările de cartare sînt 1:50; 1:100; 1:200 și mai rar 1:300, iar alegerea uneia sau a alteia se face în funcție de detaliile de trecut pe desfășurată.

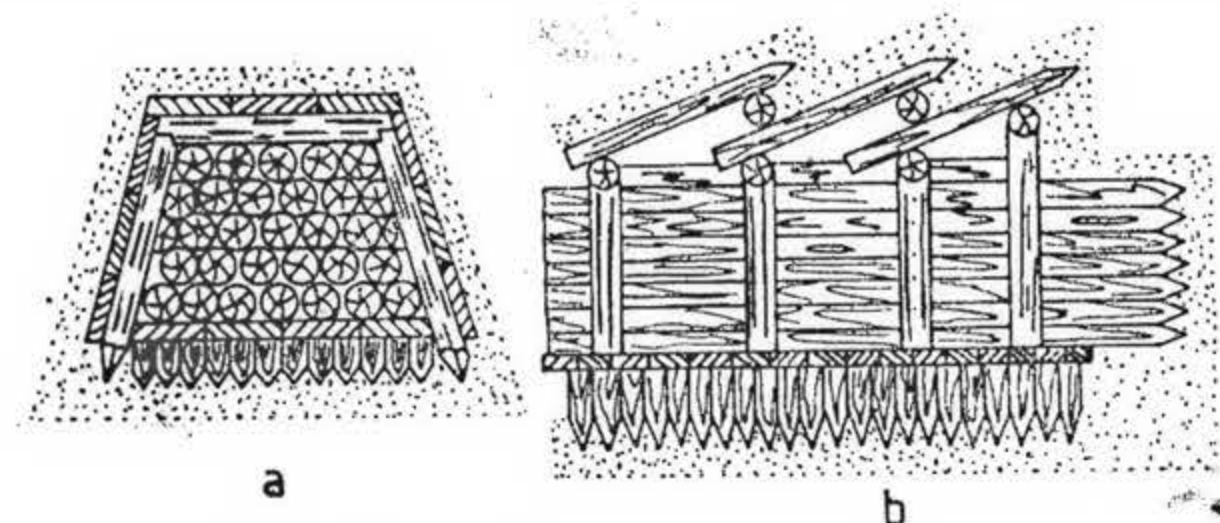


Fig. XI.46. Înaintarea cu picoți:

a — secțiune transversală; b — secțiune verticală longitudinală.

Înainte de începerea cartării propriu-zise se face o trecere în revistă a porțiunii de cartat, stabilindu-se detaliile ce se vor menționa pe desfășurată (ținîndu-se seama și de cartările anterioare) și totodată se face și marcarea metrajului pe unul din pereții galeriei.

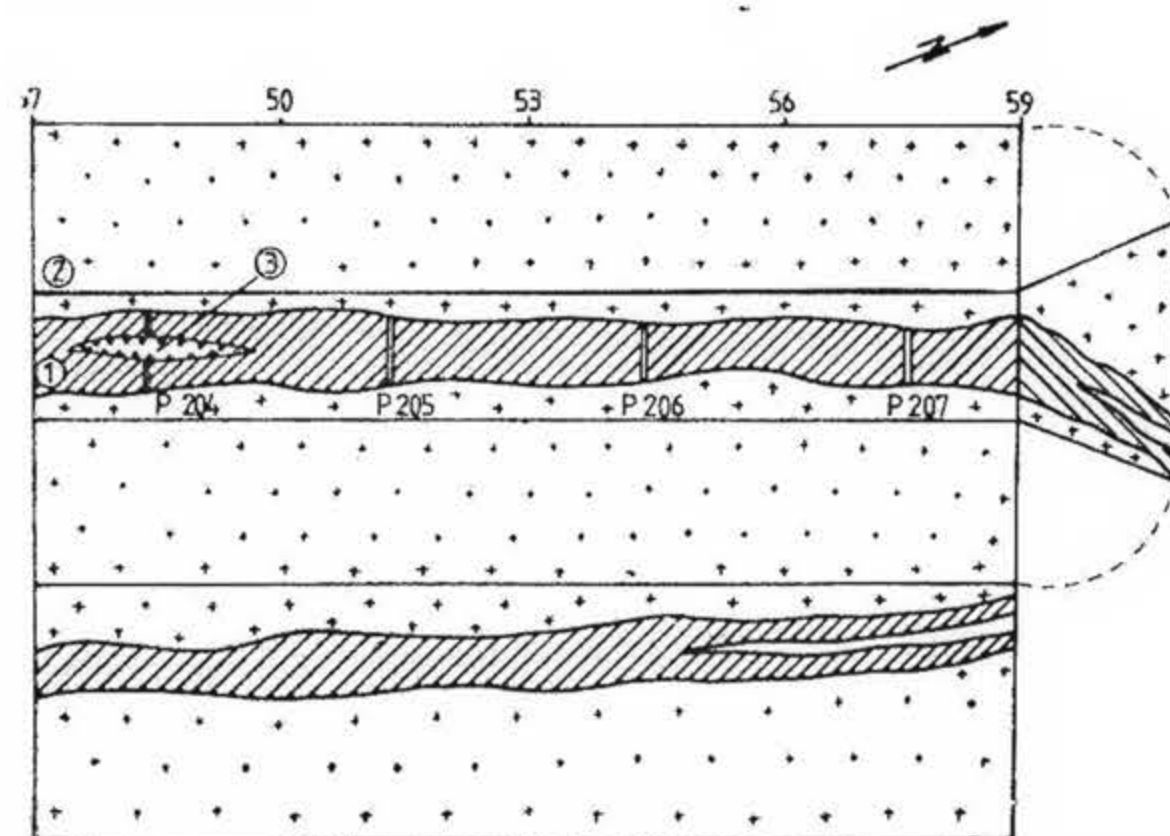


Fig. XI.47. Cartarea desfășurată a unei porțiuni de galerie direcțională:

1 — mineralizație filoniană; 2 — andezit alterat hidrotermal; 3 — geodă; P205 ... P207 — locurile de prelevare a probelor chimice prin metoda brazdelor.

Pe desfășurată se trec aceleași elemente ca și în cazul șanțurilor, tranșeelelor și puțurilor de mină, cu mențiunea că se va insista pe elementele de poziție (direcție și înclinare) ale corpului de substanță minerală utilă și faliilor, care se vor menționa și ele pe desfășurată. Detaliile în acest caz sînt mult mai numeroase, făcîndu-se la următoarele scări: 1:10; 1:5; 1:2 sau chiar 1:1 și pot cuprinde texturi sau moduri de prezentare a mineralizațiilor (raporturi între minerale metalice, între minerale metalice și cele de gangă sau între mineralizație și roca înconjurătoare). Toate detaliile se vor figura pe desfășurată (fig. XI.47).

În practica geologică se mai obișnuiește să se facă și observații în planul de orizont (cartare în planul de orizont, fig. XI.48), dar de cele mai multe ori galeriile trebuie susținute imediat, lucru ce nu mai permite efectuarea observațiilor, și din acest motiv, se recomandă cartarea desfășurată imediat după un ciclu de înaintare și întocmirea planelor de orizont pe baza acestor cartări.

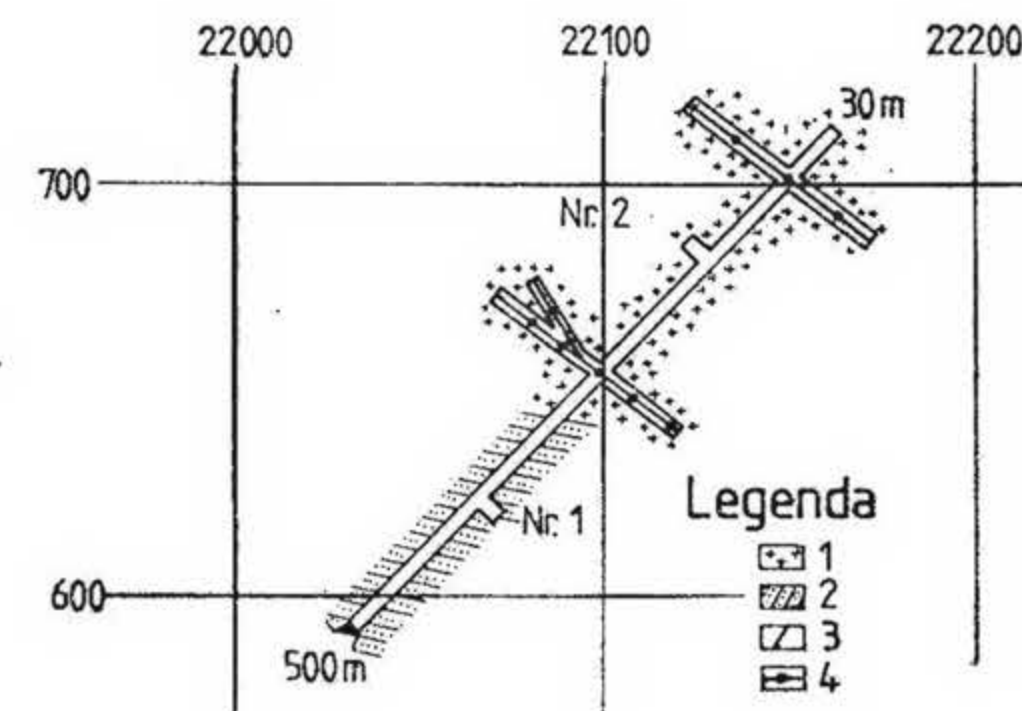


Fig. XI.48. Plan geologic de orizont.

Descrierea desfășurății se face în același mod ca și la tipurile de lucrări prezentate anterior, insistîndu-se foarte mult pe:

- forma de prezentare a mineralizației;
- elementele structurale;
- gradul de fisurare;
- tipurile de mineralizație;
- tipurile de alterări;
- relațiile dintre corp și rocile înconjurătoare;
- fenomenele hidrogeologice;
- locul de probare și modul de probare;
- descrierea macroscopică a detaliilor etc.

Avînd în vedere, uneori, necesitatea susținerii totale a porțiunii de galerie executată, atît pe desfășurată, cît și la descriere se trec toate detaliile care pot fi observate, chiar dacă unele se trec cu semn de întrebare (cele pentru care nu există un grad prea mare de siguranță).

Stabilirea elementelor spațiale ale corpului de substanță minerală utilă. Elementele spațiale ale corpului de substanță minerală utilă au foarte mare importanță atît în ce privește orientarea lucrărilor ulterioare, cît și ca parametri de calcul al rezervelor (grosimea).

Direcția și înclinarea se măsoară în funcție de tipul de galerie, mai precis de poziția galeriei față de corpul de substanțe minerale utile, astfel:

— În galerie direcțională măsurătorile se pot face cu *busola geologică* (direct pe suprafața corpului, aproximînd suprafața sau folosind *dispozitivul în cruce*) sau cu *busola suspendată* (se măsoară azimutul direcției). Pentru măsurătoare se întinde o sfoară în tavanul galeriei direcționale, între două puncte de pe aceeași față a corpului (dacă nu este posibil se aproximează această față), de care se suspendă busola cu zero reper în sensul căderii planului de măsurat, după care se face citirea la acul nordic al busolei (azimutul căderii stratului). Pentru determinarea înclinării, cînd nu poate fi

folosit clinometrul de la busola obișnuită, se folosește eclimetrul cu brațe de suspendare care se prinde de o sfoară — ce unește două puncte — unul din tavanul galeriei, iar celălalt din vatra galeriei, cu mențiunea că aceste două puncte să fie localizate în același plan al corpului de substanță minerală utilă, după care se face citirea directă.

— În galerie transversală măsurarea elementelor de poziție se poate face tot cu busola obișnuită, pe fața de strat, sau folosind *dispozitivul în cruce*, sau cu busola suspendată și eclimetrul, cu mențiunea ca măsurătorile să se execute pentru același plan al corpului.

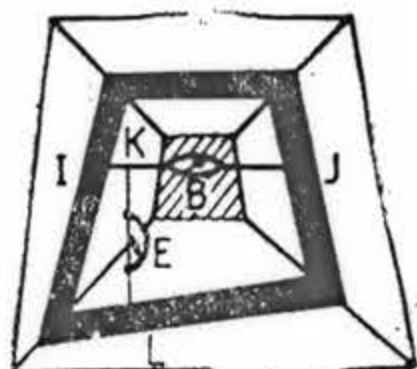


Fig. XI.49. Modul de materializare a planului de măsurare a direcției și înclinării corpului de substanță minerală utilă (filon, strat, lentilă) intersectat de o galerie.

Busola suspendată se folosește după ce se materializează linia rezultată din intersecția planului de măsurare a corpului cu planul orizontal, printr-o sfoară *IJ* (fig. XI.49), de care se suspendă busola *B* cu zero reper în sensul căderii planului și efectuându-se citirea azimutului căderii la acul nordic. Pentru măsurarea înclinării, de sfoara *IJ* se prinde o a doua sfoară *KL* (care trebuie să reprezinte, linia de cea mai mare pantă a planului) de care se suspendă eclimetrul *E*, efectuându-se citirea directă.

— În galerie oblică direcția și înclinarea se pot obține prin măsurători cu busola suspendată și eclimetrul, aplicate ca în cazul de mai sus, după ce linia *IJ* se materializează prin două jaloane (unite printr-o sfoară) în planul de măsurare a corpului. Direcția și înclinarea se mai pot determina și prin construcții grafice (metoda proiecției cotate), când nu se poate efectua măsurarea directă.

Grosimea normală (g_n) a corpului de substanță minerală utilă se poate măsura direct, în cazul în care aceasta se încadrează pe:

- frontul galeriei (galerie direcțională);
- peretele galeriei (galerie transversală);
- în vatră sau tavan (galerie oblică).

Pentru situațiile în care grosimea normală nu se încadrează pe unul din elementele galeriei, aceasta se determină în funcție de grosimea orizontală (g_o) și înclinarea corpului (α), după cum urmează:

- galerie direcțională (fig. XI.50, a):

$$g_n = g_o \sin \alpha$$

- galerie transversală (fig. XI.50, b):

$$g_n = g_o \sin \alpha$$

- galerie oblică (fig. XI.50, c):

$$g_n = g_o \sin \beta = g'_o \sin \alpha \sin \beta;$$

$$g_o = g'_o \sin \alpha;$$

$$\beta^\circ = \delta_2^\circ - \delta_1^\circ;$$

unde: δ_1° — reprezintă azimutul direcției galeriei;
 δ_2° — azimutul direcției zăcămintului;
 g'_o — grosimea aparentă orizontală;
 α — înclinarea zăcămintului.

Recoltarea probelor este o operație foarte importantă în cadrul documentării geologice. Se recoltează probe mineralogice, probe pentru determinări chimice, fizice și probe tehnologice.

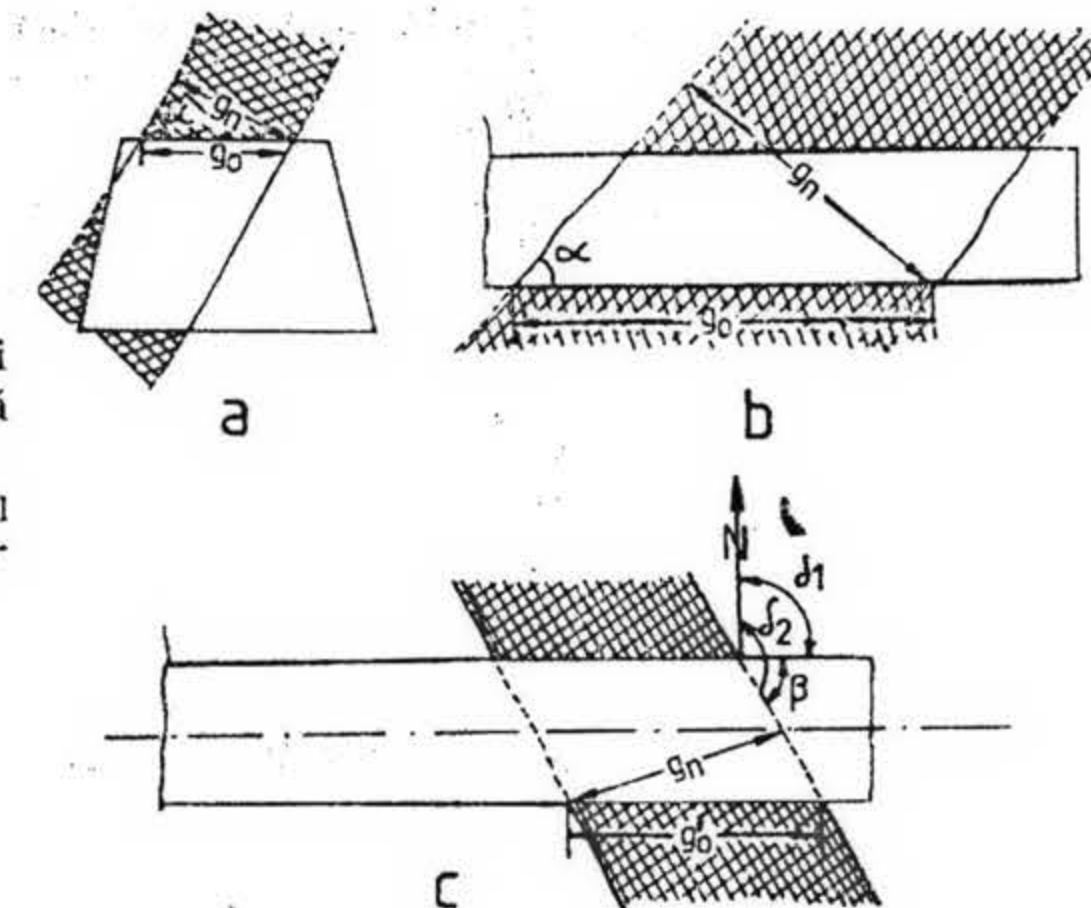


Fig. XI.50. Determinarea grosimii normale a corpului de substanță minerală utilă:

a — în cazul unei galerii direcționale; b — în cazul unei galerii transversale; c — în cazul unei galerii oblice.

Având în vedere importanța parametrilor care se obțin în urma probării substanței minerale utile, trebuie respectate toate condițiile unei probări cât mai reprezentative, condiții și metodologii prezentate în detaliu la Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile.

2.2.5. PLANE ÎNCLINATE DE EXPLORARE

Planele înclinate sînt lucrări miniere cu o înclinare mai mică de 30° , săpate de sus în jos (descendent).

Obiective urmărite. Se folosesc la explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile înclinate sub 30° , care apar la zi.

Planele înclinate se folosesc pe scară mare în explorarea zăcămintelor de cărbuni și mai puțin în explorarea zăcămintelor de minereuri. Ele reprezintă avantajul că sînt mai ieftine decît puțurile verticale și mai ușor de executat.

Amplasamentul planelor înclinate de explorare. Planele înclinate de explorare se sapă de regulă în zăcămint; cînd zăcămintul este înclinat și aflurează, planul înclinat se sapă pe înclinarea lui, avînd vatra planului pe culcuș.

Forma și dimensiunile planelor înclinate de explorare. La dimensionarea planelor înclinate se ține seama, în general, de aceeași factori ca și la puțurile verticale.

Planele înclinate de explorare au secțiunile tipizate de: $5,20 \text{ m}^2$, $6,70 \text{ m}^2$, $8,00 \text{ m}^2$, $10,20 \text{ m}^2$ (v. tabelul XI.2) și se susțin în beton torcretat, în lemn (fig. XI.51), în metal (fig. XI.52) sau în beton monolit. Profilul acestora poate fi trapezoidal, sub formă de boltă sau circular, avînd două compartimente — unul pentru transport și celălalt pentru circulația personalului. Lungimea planelor înclinate se măsoară pe înclinare.

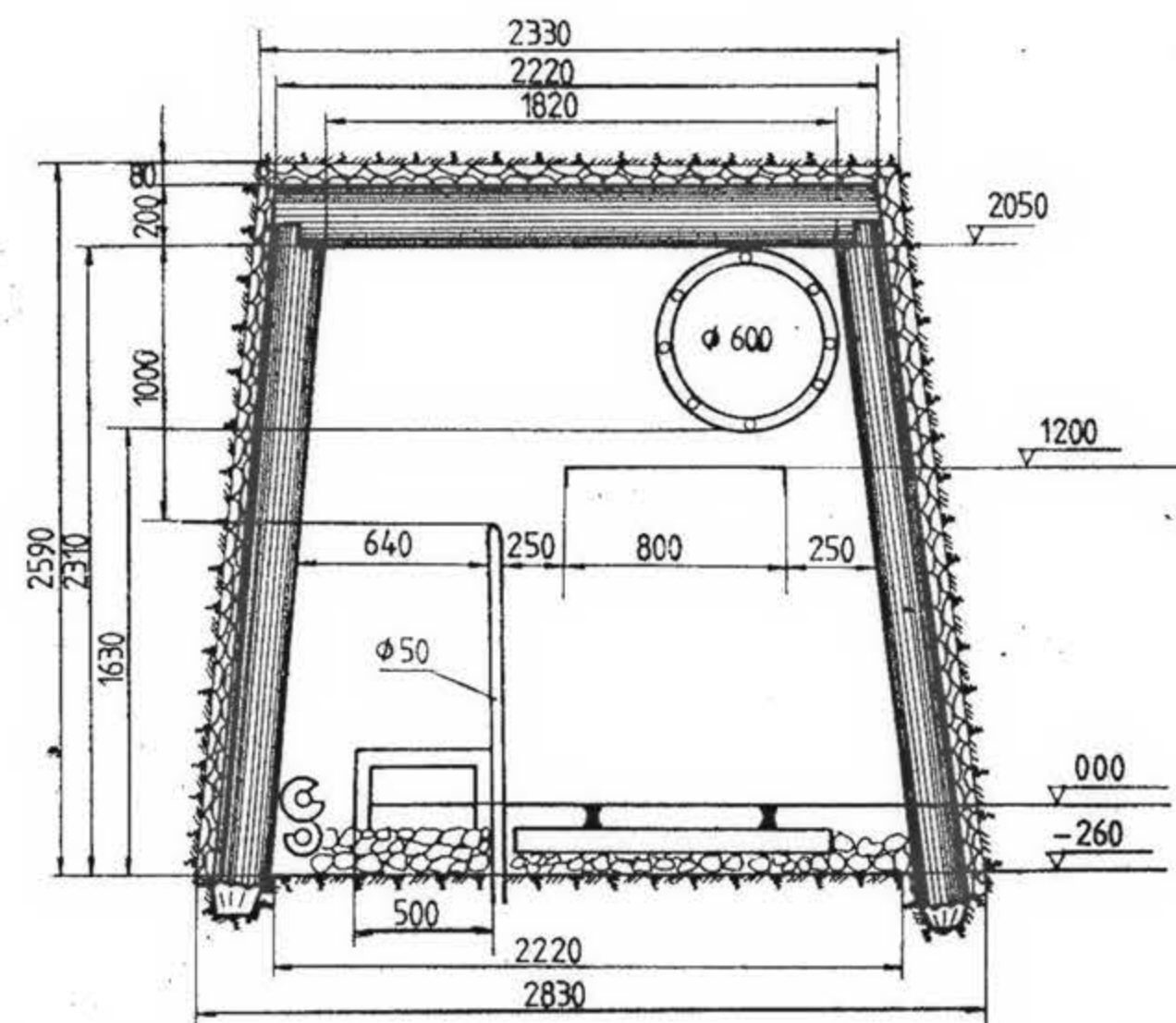


Fig. XI.51. Plan inclinat PL1L — 6,70 m², cu profil trapezoidal, susținut în lemn.

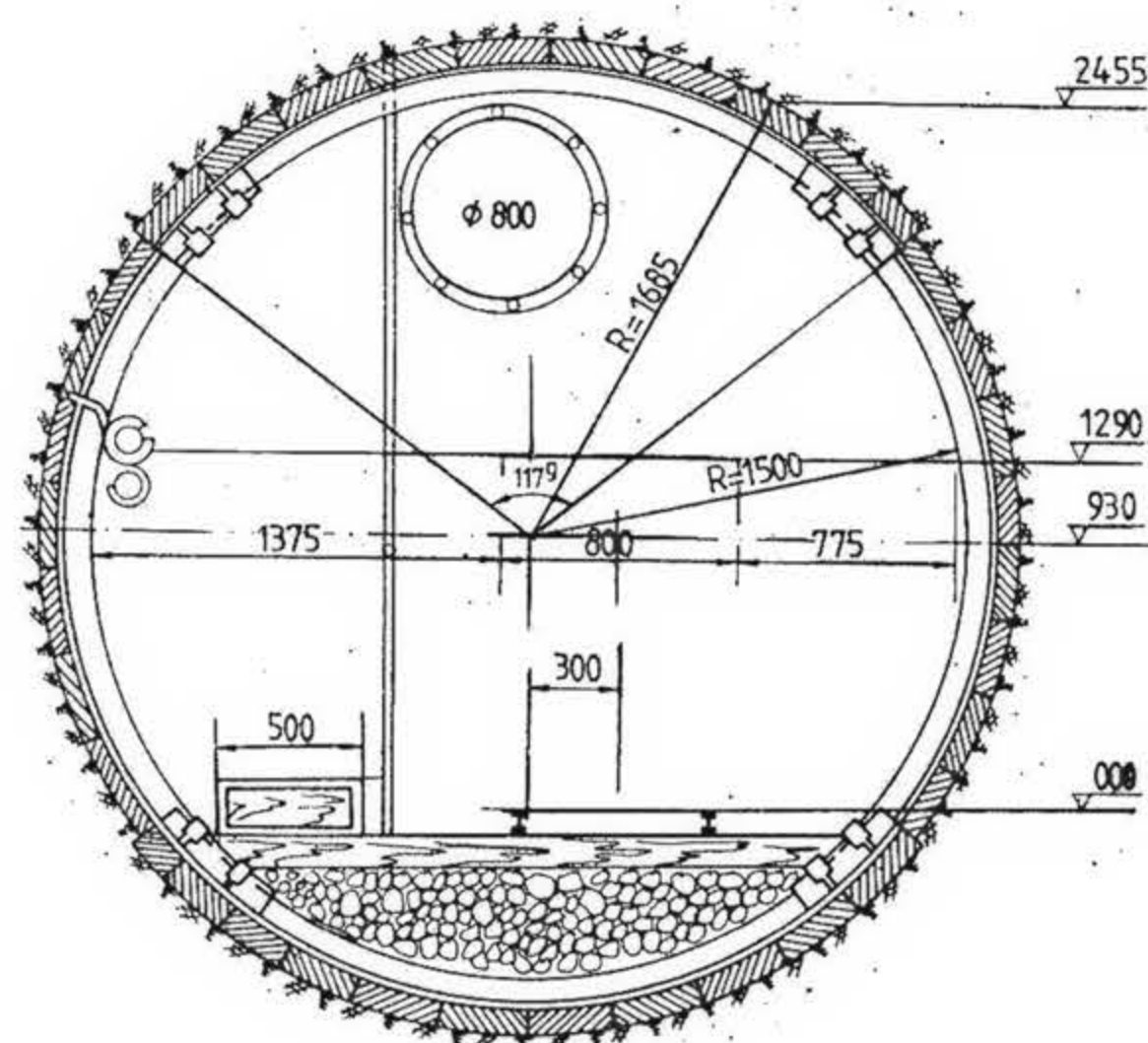


Fig. XI.52. Plan inclinat PL2Mc — 9,00 m², cu profil circular și susținere metalică.

Săparea și susținerea planelor înclinate. Săparea planelor înclinate este determinată în special de infiltrațiile de apă.

Explorarea începută prin plane înclinate se combină cu galerii direcționale săpate din planul înclinat.

Totdeauna când zăcămintul prezintă condiții favorabile pentru explorarea prin lucrări miniere, se examinează în prealabil dacă substanța minerală utilă este mai moale sau mai tare decât rocile înconjurătoare. Când zăcămintul este mai moale se recomandă planul înclinat, deoarece este mai economic, iar în caz contrar, când zăcămintul este mai tare, la aceleași condiții de zăcămint este preferabil puțul vertical.

Săparea planelor înclinate se face de sus în jos, în cazul explorării inițiale a unui zăcămint sau în cazul deschiderii unui nou orizont. Dacă planul înclinat servește ca lucrare de legătură între un orizont inferior deja deschis și un orizont superior, se obișnuiește, în cele mai multe cazuri, săparea de jos în sus, deoarece acest procedeu este mai economic (roca tăiată poate fi evacuată din front mai ușor).

Metodele de săpare de sus în jos a planurilor înclinate sînt asemănătoare cu metodele de săpare a galeriilor. Tăierea se face cu explozivi sau cu ciocane de abataj etc.

Susținerea planelor înclinate este asemănătoare cu cea a galeriilor.

Documentarea geologică și probarea formațiunilor din planele înclinate de explorare se fac la fel ca și la galerii.

2.2.6. SUITORI DE EXPLORARE ȘI COBORÎTORI

După străpungerea unui zăcămint prin galerii transversale sau puțuri și după urmărirea lui prin galerii direcționale, acesta trebuie cercetat pe verticală, cu ajutorul unor lucrări miniere verticale sau ușor înclinate față de verticală (în funcție de înclinarea zăcămintului), cu secțiunea mai mică decât a puțurilor, numite *suitori*.

Obiective urmărite. Prin suitori se cercetează continuitatea pe verticală a zăcămintului, variațiile mineralizației pe verticală, se stabilește zona optimă de mineralizare și zăcămintul este compartimentat în panouri, în vederea determinării rezervelor de categorii superioare (fig. XI.53).

În afară de rolul pe care îl au suitorii în conturarea și determinarea calitativă a zăcămintului pe verticală, ele asigură aerajul în subteran, făcînd posibilă stabilirea unui circuit de aer care spală fronturile de lucru.

Forma și dimensiunile suitorilor de explorare. La alegerea profilului suitorilor se ține seama de caracteristicile zăcămintului, de natura rocilor și de scopul urmărit. Totdeauna suitorii de explorare au două compartimente, înlesnind săparea și mărind securitatea muncii, atît în timpul executării lucrării cît și ulterior (fig. XI.54—XI.56).

Cînd suitorii de explorare vor servi și viitoarei exploatarei, se pot prevedea trei compartimente. Ca și lucrările orizontale, suitorii pot fi susținuți sau nesusținuți. Ele au profile de formă dreptunghiulară sau circulară a căror secțiune, după condițiile de lucru și scopul urmărit, poate fi de 3,20 m² (fig. XI.54), 5,10 m² (fig. XI.55) și 6,70 m² (v. tabelul XI.2). Lungimea lor este de 30—100 m, măsurată pe înclinarea zăcămintului.

Săparea și susținerea suitorilor de explorare. Suitorii se sapă, de regulă, în zăcămint. În cazul zăcămintelor înclinate, suitorii se sapă pe înclinare, urmărindu-se încadrarea zăcămintului în pereții suitorii.

Distanța dintre suitori variază de la zăcămint, depinzând de gradul explorării care se execută. La fixarea distanței, este necesar să se țină seama și de viitoarea exploatare, fiindcă suitorii de explorare pot fi folosiți la exploatare.

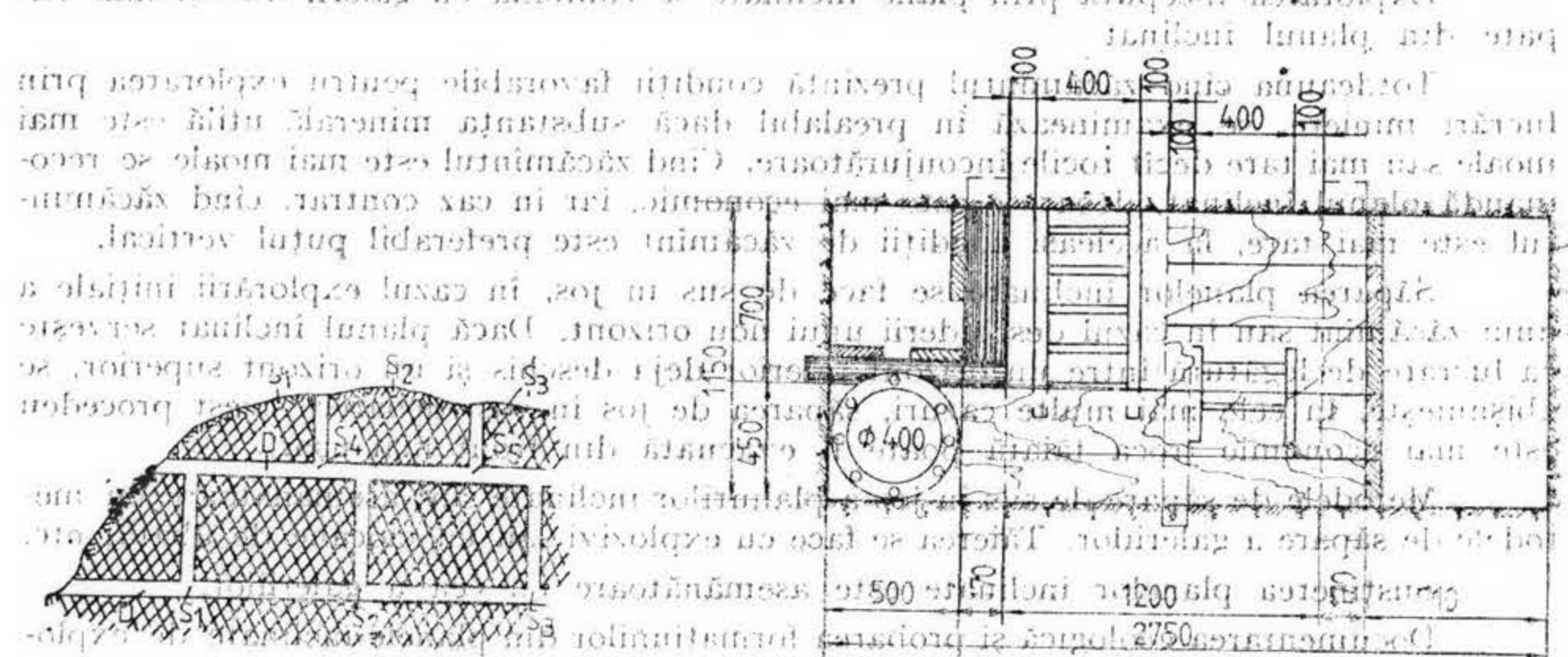


Fig. XI.53. Împărțirea zăcămintului prin suitori în panouri (secțiune în planul zăcămintului, în proiecție verticală).

D — galerii direcționale; S₁...S₆ — suitori;
S_a — tanturi de explorare.

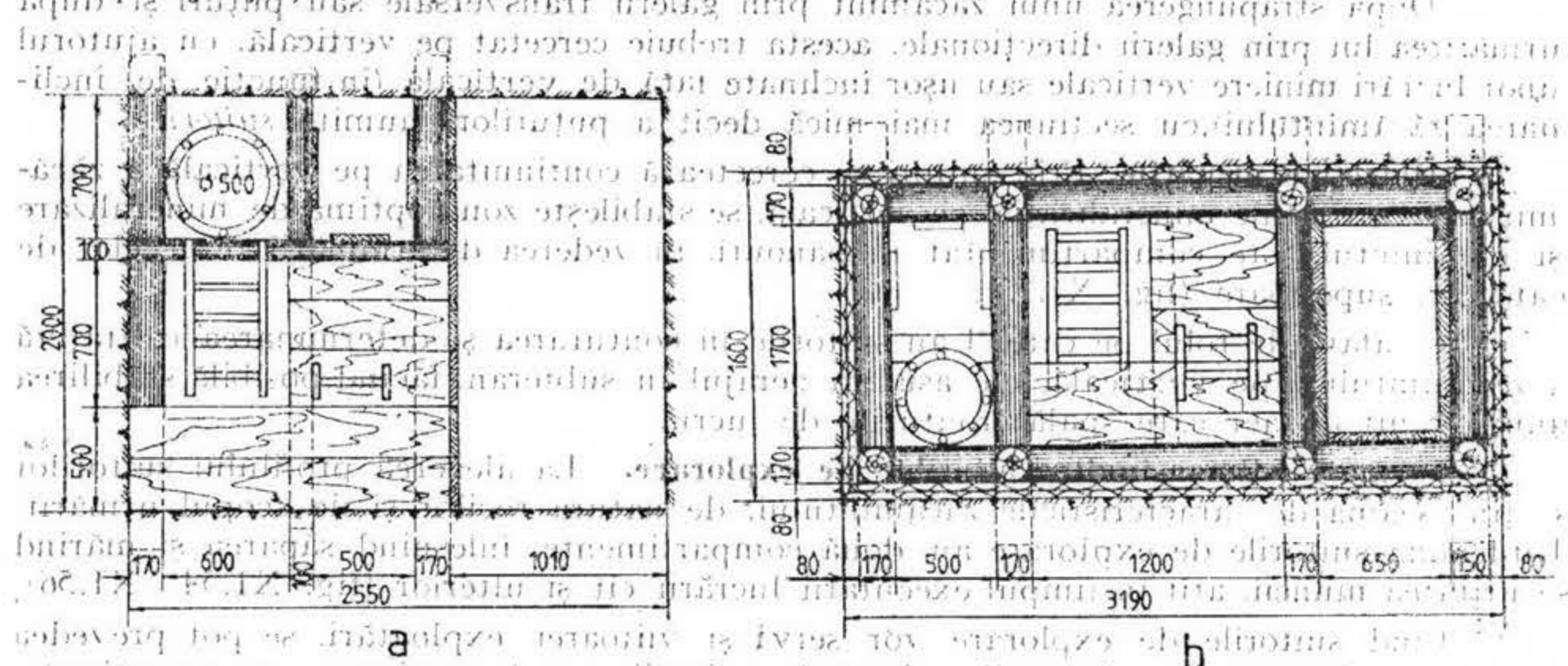


Fig. XI.54. Suitoare SIT1—3,20 m², cu profil dreptunghiular, nesusținută.

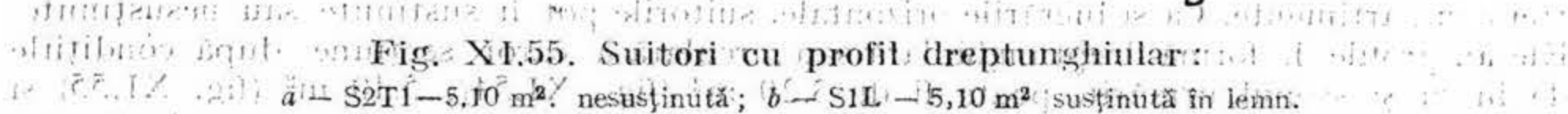


Fig. XI.55. Suitori cu profil dreptunghiular: a) S2T1—5,10 m², nesusținută; b) S1L—5,10 m², susținută în lemn.

Când se urmărește explorarea amănunțită, suitorii se sapă la intervale din 50 în 50 m, distanță considerată corespunzătoare din punct de vedere tehnic și geologic; la zăcămint de dimensiuni mari această distanță poate fi de 100 m.

Susținerea suitorilor se face în lemn sau în beton.

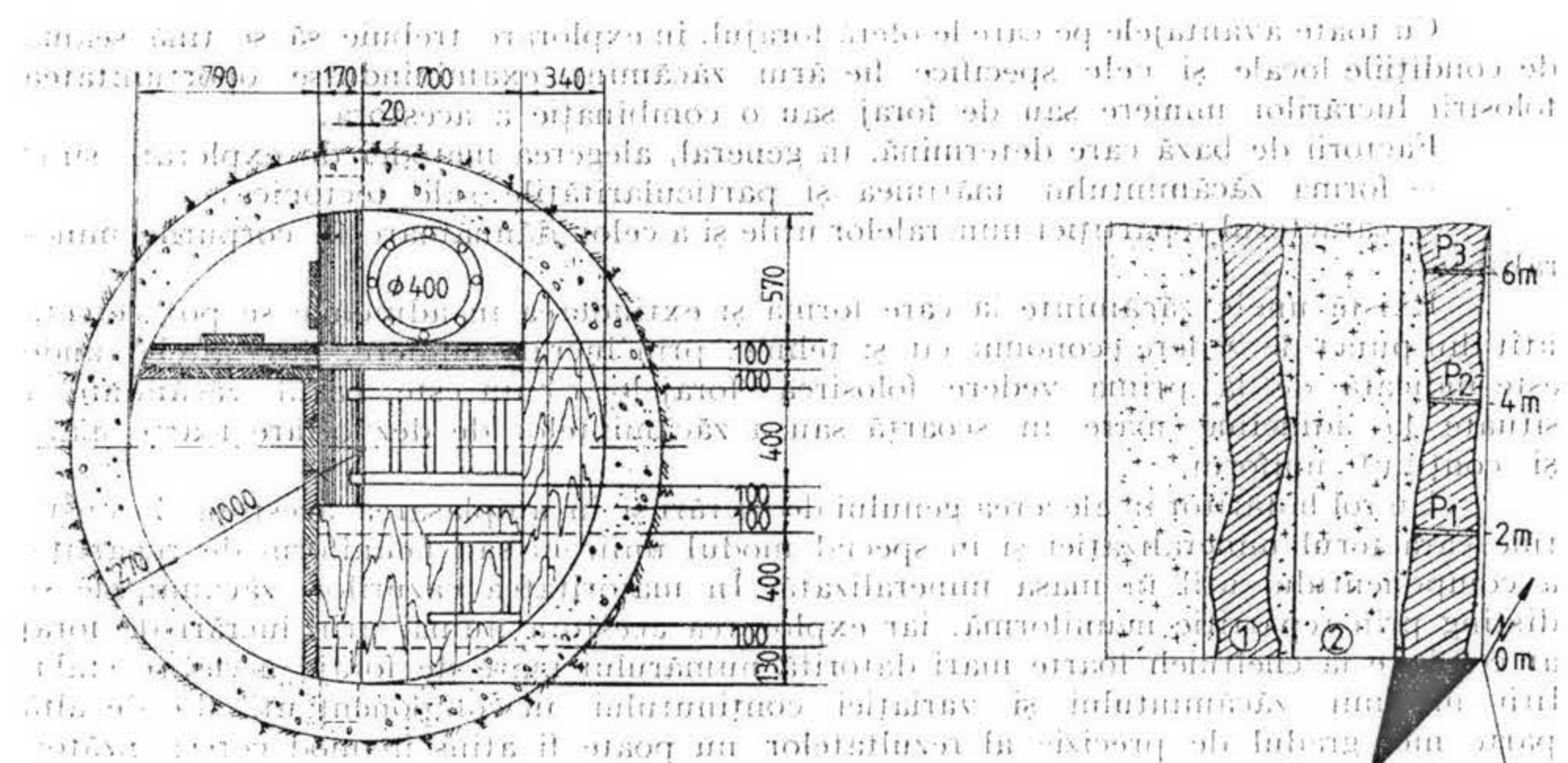


Fig. XI.56. Suitoare S1B—5,10 m², cu profil circular, susținută în beton.

Fig. XI.57. Cartarea desfășurată a unei porțiuni de suitoare:
1 — mineralizație filoniană; 2 — ardizit alterat; P₁...P₃ — locul de prelevare a probelor brazda.

Documentarea geologică și probarea suitorilor se face după aceleași norme ca și la celelalte lucrări miniere (fig. XI.57). Concomitent cu săpărea suitorilor se iau probe sistematice pentru analizele mineralogice și chimice.

3. EXPLORAREA PRIN FORAJE

3.1. CONDIȚII DE APLICARE A FORAJULUI ÎN EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR

Forajul a găsit în ultima vreme o largă aplicare în domeniul explorării tuturor substanțelor minerale utile, datorită rapidității în execuție, simplității utilajului și costului mai redus al lucrărilor de explorare prin foraje, față de cel al lucrărilor miniere.

În afară de aceasta, există anumite situații în care zăcămintul nu poate fi explorat decât exclusiv prin foraje, cum este cazul zăcămintelor de substanțe fluide, al zăcămintelor situate sub fundul mărilor, sau când acestea sînt situate la o mare adîncime.

Pe de altă parte, recuperajul probelor de teren, care a crescut pînă la 90% și chiar 100%, oferă posibilitatea de a obține toate datele geologice necesare determinării caracteristicilor, formațiunilor străbătute și descifrării structurilor geologice.

Cu toate avantajele pe care le oferă forajul, în explorare trebuie să se țină seama de condițiile locale și cele specifice fiecărui zăcămint, examinându-se oportunitatea folosirii lucrărilor miniere sau de foraj sau o combinație a acestora.

Factorii de bază care determină, în general, alegerea metodei de explorare sînt:

- forma zăcămintului, mărimea și particularitățile sale tectonice;
- caracterul repartiției mineralelor utile și a celor dăunătoare în corpurile mineralizate.

Există unele zăcămintele la care forma și extinderea în adîncime se pot cerceta atît din punct de vedere economic cît și tehnic, prin lucrări miniere, iar altele unde este indicată de la prima vedere folosirea forajelor, cum este cazul zăcămintelor situate la adîncime mare în scoarță sau a zăcămintelor de dezvoltare foarte mare și conținut uniform.

Un rol hotărîtor în alegerea genului de lucrări și în amplasarea acestora îl constituie caracterul mineralizației și în special modul uniform sau neuniform de repartiție a componentului util în masa mineralizată. În majoritatea cazurilor, zăcămintele se disting prin repartiție neuniformă, iar explorarea acestora numai prin lucrări de foraj ar conduce la cheltuieli foarte mari datorită numărului mare de foraje necesare stabilirii mărimii zăcămintului și variației conținutului în component util. Pe de altă parte nici gradul de precizie al rezultatelor nu poate fi atins în mod corespunzător.

Cu totul alta este situația zăcămintelor mari și cu conținut uniform.

Rezultă deci că sînt cazuri în care este indicat să se facă explorarea exclusiv prin lucrări miniere, cum sînt zăcămintele cu formă complicată, cu întindere relativ redusă și cu conținut foarte variabil în component util. La fel există situații cînd se recomandă explorarea exclusiv prin foraje, așa cum s-a mai arătat, în cazul zăcămintelor situate la mare adîncime sau al zăcămintelor de mare amploare și cu conținut uniform.

În majoritatea cazurilor însă este nevoie să se folosească explorarea mixtă, prin combinarea lucrărilor miniere cu cele de foraje, iar preponderența unuia din genul de lucrări depinde de la zăcămint la zăcămint. În folosirea combinată a lucrărilor, execuția acestora poate fi organizată astfel ca ea să fie realizată:

- simultan (sau în paralel), cînd zăcămintul este atacat atît prin lucrări miniere cît și prin foraje;
- succesiv, cînd forajul se aplică pe baza rezultatelor obținute în prealabil de lucrările miniere de explorare și invers;
- paralel-succesiv, care reprezintă procedeul cel mai obișnuit.

Afară de avantaje, forajul de explorare are și unele dezavantaje. În cursul executării forajului, realizarea unui procent ridicat de recuperare a carotei, ca și menținerea normală a noroiului de foraj sînt în unele cazuri extrem de dificile, iar uneori chiar imposibile. Astfel, existența unui acoperiș faliat sau a zăcămintelor fisurate și dislocate creează condiții grele de lucru și scumpesc enorm lucrarea prin măsurile speciale de izolare ce se impun (tubarea, cimentarea).

Pe de altă parte, realizarea unei probări corecte conduce în multe cazuri la reducerea randamentului săpării și la ridicarea costului acesteia.

În afara criteriilor privind costul lucrărilor și durata de execuție, lucrările de explorare miniere și de foraj mai trebuie apreciate comparativ și sub aspectul preciziei rezultatelor și al riscului. Din punctul de vedere al rezultatelor, utilizarea lucrărilor miniere este superioară lucrărilor de foraj, datorită posibilității contactului direct cu formațiunile geologice. De asemenea, lucrările de foraj sînt mai riscante, fie datorită condițiilor de zăcămint (falieri, efilări, cutări ale zăcămintului etc.), care fac ca rezul-

tatele forajelor să fie negative sau neconcludente, fie datorită tehnicii de foraj (devieri, recuperare necorespunzătoare etc.), care fac ca lucrările să nu-și atingă obiectivul urmărit (v. fig. XI.101).

Din analiza condițiilor de aplicare a lucrărilor de foraj în explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile și a criteriilor de comparație a acestora cu lucrările miniere, se pot trage următoarele concluzii:

— există situații în care unica posibilitate de investigație în domeniul cercetărilor geologice și a explorării zăcămintelor de substanțe minerale utile o prezintă lucrările de foraj;

— în faza de explorare, metoda cea mai indicată este folosirea combinată a lucrărilor miniere și de foraj;

— justificarea economică a duratei de execuție a lucrărilor trebuie să fie făcută luîndu-se în considerație întregul ansamblu de lucrări necesare explorării integrale și perioada necesară pînă la darea în exploatare a zăcămintului;

— deși gradul de precizie al rezultatelor obținute prin lucrările de foraj este inferior preciziei datelor din lucrările miniere de explorare, totuși acestea dau posibilitatea obținerii de rezultate concludente asupra mineralizației și a potențialului zăcămintului, ceea ce permite să se facă previziuni de timp asupra lucrărilor de viitor;

— prin problemele de execuție și de organizare mai simple, pe care le ridică activitatea forajului de explorare, există întotdeauna posibilitatea de a face investigații și a obține date mult mai devreme în cele mai variate și mai grele condiții naturale și de zăcămint.

3.2. DATE GENERALE ASUPRA FORAJULUI

Forajul constă în executarea în scoarță a unei deschideri cilindrice caracterizată prin lungime mare în comparație cu secțiunea sa, numită *gaură de sondă*.

În procesul tehnologic de foraj, indiferent de scopul urmărit și utilajul folosit, se disting operații de bază și operații accesorii.

Operațiile de bază ale forajului sînt:

- forajul propriu-zis sau dislocarea rocii;
- spălarea găurii de sondă de sfărîmăturile rezultate în urma săpării;
- introducerea și extragerea garniturii de foraj (operații de manevră).

Operațiile auxiliare sînt:

- consolidarea pereților găurii de sondă sau tubajul, care se face cu ajutorul coloanei de tubaj, constituită din burlane de oțel;
- izolarea apelor sau cimentarea, în regiunile în care se forează, printre stratele străbătute existînd și strate acvifere, care trebuie izolate;
- instrumentațiile sau operațiile de rezolvare a accidentelor provenite din diverse cauze în timpul forajului.

Clasificarea forajului. După scopul pe care-l urmăresc, lucrările de foraj se pot clasifica în: foraj de prospecțiune; foraj de referință; foraj de explorare; foraj de exploatare; foraj pentru cercetări geotehnice; foraj hidrogeologic.

Forajul de prospecțiune servește la executarea găurilor de sondă necesare prospecțiunii geofizice, în special prospecțiunilor seismice.

Forajul de referință urmărește determinarea structurii geologice a unei regiuni.

Forajul de explorare se execută în regiunile în care prospecțiunile au dat indicații asupra existenței zăcămintelor de substanțe minerale utile.

Forajul de exploatare servește pentru exploatarea zăcămintelor de gaze, fitei, sare sau în alte scopuri (aeraj, rambleiere etc.).

Forajul pentru cercetări geotehnice servește la determinarea naturii terenurilor în vederea amplasării construcțiilor industriale, a lucrărilor edilitare, barajelor, tunelurilor etc.

Forajul hidrogeologic se execută în scopul efectuării cercetărilor pentru alimentări cu apă, studiilor hidrogeologice, asecărilor și altor lucrări similare.

După modul în care se efectuează operațiile de bază, se deosebesc: forajul percutant și forajul rotativ.

Forajul rotativ se caracterizează prin aceea că mișcarea de rotație a sapei se realizează prin intermediul garniturii de foraj acționată de masa rotativă sau de dispozitivul de rotire în cazul sondezelor. Curățirea găurii de sondă de detritus se face în mod continuu, prin noroiul de foraj, care intră prin prăjini, trece prin orificiile uneltei de săpat și iese la suprafață prin spațiul inelar dintre prăjini și pereții găurii de sondă.

Forajul rotativ, datorită avantajelor pe care le prezintă față de forajul percutant, a ajuns să-l înlocuiască complet pe acesta din urmă în forajul de explorare.

3.3. SĂPAREA GĂURII DE SONDĂ. SAPE ȘI CAROTIERE

Dislocarea rocii în procesul de foraj, în funcție de scopul urmărit, se poate realiza pe întreaga secțiune a găurii de sondă sau numai pe secțiune inelară. Dislocarea sau tăierea rocilor din talpa găurii de sondă se realizează prin pătrunderea uneltei tăietoare în rocă în mod alternativ, în cazul forajului percutant, sau prin pătrunderea și rotirea concomitentă a uneltei tăietoare (sapă, carotieră) în rocă, în cazul forajului rotativ.

Dislocarea rocii pe întreaga secțiune se face cu ajutorul sapei de foraj, iar dislocarea pe secțiune inelară se realizează cu ajutorul carotierelor.

3.3.1. SAPE FOLOSITE ÎN FORAJUL CU SONDEZE


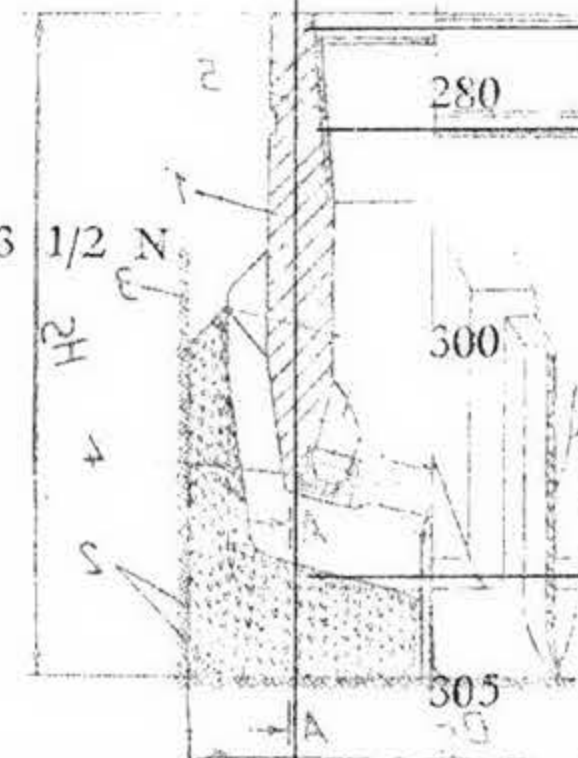
În forajul de explorare cu sondeze, scopul fiind acela de a extrage cit mai multe probe de teren, sapele sunt utilizate numai în cazuri speciale, cum ar fi: începutul forajului, lărgirea găurilor de sondă, controlul și curățirea găurilor de sondă, săparea unei porțiuni în care nu este nevoie să se extragă probe, la săparea găurilor de sondă pentru hidrocarburi sau surse naturale de apă.

O utilizare largă au sapele în forajul cu sondeze pentru scopuri geotehnice și hidro-tehnice, la stingerea unor focuri subterane sau la rambleierea golurilor rezultate în urma exploatarei, pentru găuri de control minier, pentru executarea șuiturilor etc.

După modul de acționare pe talpa găurii de sondă pentru dislocarea rocii, se deosebesc: sape cu efect aschietor (sape cu lame); sape cu efect aschietor-despicător (sape cu role) și sape cu efect de roadere (sape cu diamante).

În forajul cu sondeze se utilizează următoarele tipuri de sape: sape cu lame (sape cu trei lame), sape cu role și sape cu diamante, cu dimensiuni corespunzătoare pentru forajul cu sondeze.

Tabelul XI.3
Sapele cu 3 lame (STAS 108-74)

Diametrul sapei, D_s			Diametrul nominal al filetului sapei cep sau mufă [mm]	Înălțimea sapei, H_s (informativă) [mm]	Masa sapei (informativă) [kg]
Nominal	Abateri				
mm	in	in			
120,7	4 3/4		2 7/8 N		10
123,8	4 7/8				11
136,5	5 3/8		3 1/2 N		12
142,9	5 5/8				13
146,1	5 3/4				14
149,2	5 7/8				20
152,4	6		4 1/2 N	300	22
155,6	6 1/8				23
158,8	6 1/4				
161,9	6 3/8				
165,1	6 1/2				
168,3	6 5/8			305	24
171,5	6 3/4				
184,2	7 1/4	+0,8	4 1/2 N	310	25
187,3	7 3/8				
190,5	7 1/2			330	30
193,7	7 7/8				
196,9	7 3/4				
200,0	7 7/8				
212,7	8 3/8		4 1/2 N	340	34
215,9	8 1/2				
219,1	8 7/8				
				350	38
					42
				370	43

În general, la alegerea tipului de sapă trebuie să se țină seama, în primul rând, de caracterul formațiunilor în care se sapă.

În funcție de natura rocilor în care se forează, sapele sunt armate cu diverse materiale (aliaje) dure și cu diamante.

a. Sape cu lame. În forajul cu sondeze este întâlnită frecvent sapă cu trei lame (fig. XI.58), folosită ca sapă specială pentru lărgirea găurii de sondă, frezarea carotelor rămase în gaura de sondă și a cimentului din coloană. Dimensiunile acestei sapei sunt date în tabelul XI.3.

Sape cu role. Se folosesc la forajul în roci tari și foarte tari. În timpul lucrului sapa se învîrtește și odată cu ea se învîrtesc și rolele care se rostogolesc pe talpa găurii de sondă. Dinții lovesc roca, o sfărîmă în bucăți, care sînt luate de curentul de noroi și aduse la suprafață. După modul de construcție al rolelor, dislocarea rocii pe talpa găurii de sondă se realizează ca urmare a acțiunii de așchiere și despicare produsă de rostogolirea pe talpa găurii de sondă și de tirire în același timp al rolelor.

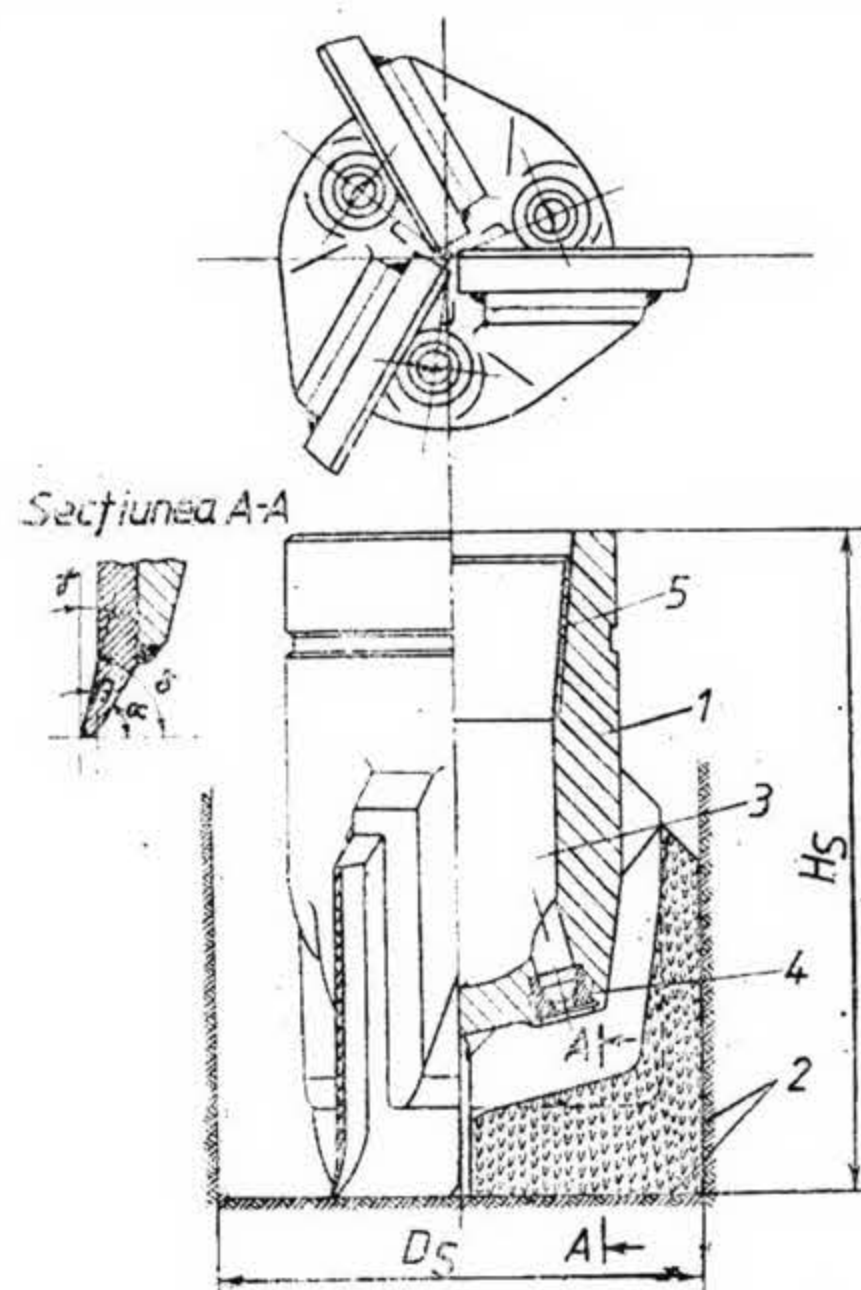


Fig. XI.58. Sapa cu trei lame:

1 — corp; 2 — muchii active; 3 — interior; 4 — duză; 5 — filet de legătură.

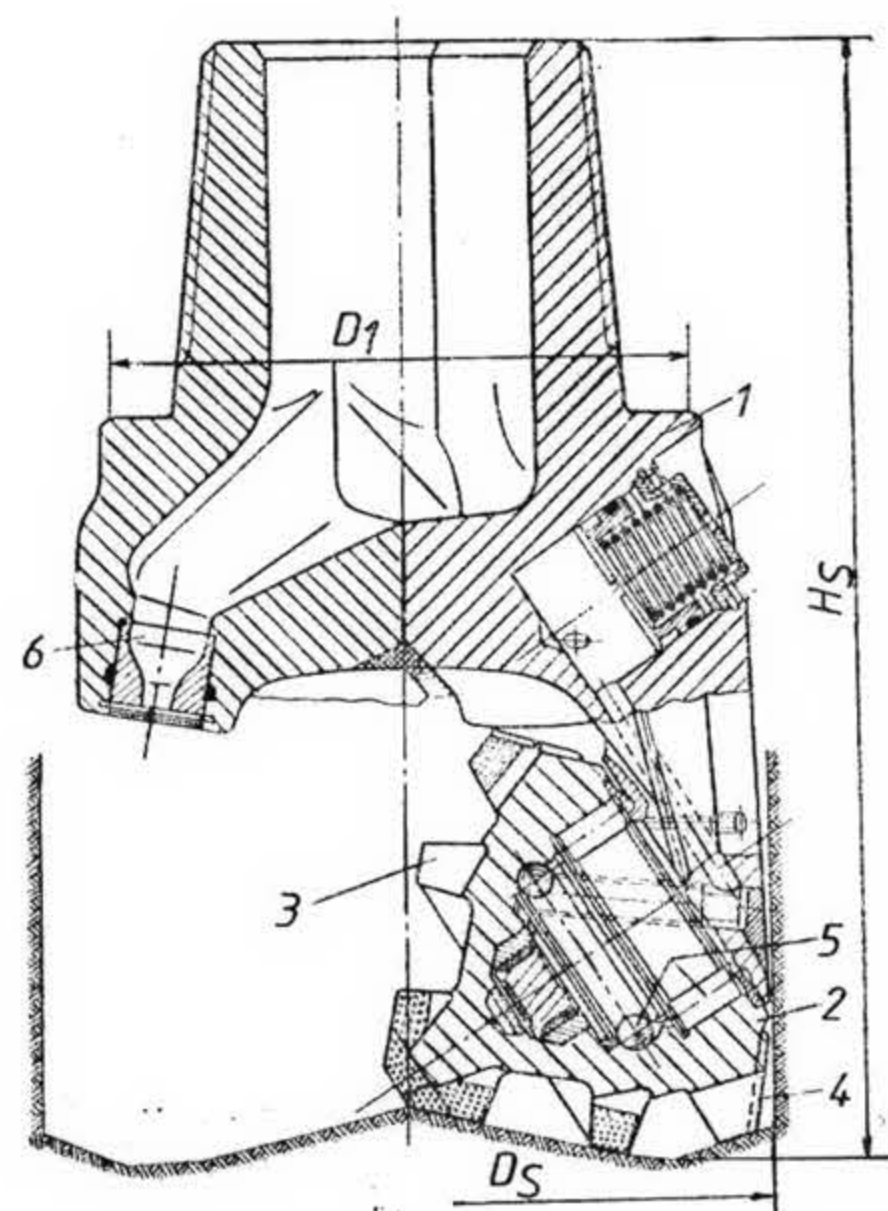


Fig. XI.59. Sapa cu trei role conice:

1 — falcă; 2 — con; 3 — dantură; 4 — contracon; 5 — lagăr; 6 — duză.

sau dislocarea are loc ca efect al despicării și sfărîmării. Profilul dinților diferă după tăria rocilor. Pentru rocile de tărie mijlocie, dinții sînt lungi și ascuțiți, iar pentru rocile tari și foarte tari sînt scurți și obtuși.

Sapele cu role dau rezultatele cele mai bune în forajul rapid, cînd turația și apăsarea pe talpă sînt mari.

Sapele cu role se realizează într-o gamă largă de tipuri și dimensiuni, ceea ce le face propice pentru traversarea rocilor cuprinse în categoriile I—IX. Cele mai răspîndite sînt *sapele cu trei role conice*. Acest tip de sapa este alcătuit dintr-un corp masiv de oțel, prevăzut la partea superioară cu cep sau mufă, iar la partea inferioară cu 3 falci în care se fixează în consolă axele pe care se rotesc rolele sapei (fig. XI.59). În comparație cu sapele cu lame, sapele cu role au o durată mai mare de funcționare, realizează găuri mai uniforme și permit mărirea vitezelor de foraj, fapt pentru care în ultima vreme ele le-au înlocuit aproape complet pe cele cu lame.

Tabelul XI.4.

Tipurile de sape cu trei conuri (role), în funcție de rocile în care se sapă

Tipul sapei	Roca	
	Rezistența la foraj și abrazivitate	Exemple (informativ)
S	Slabă (roci neconsolidate)	Argile și marne slabe, marne nisipoase neconsolidate, nisipuri neconsolidate etc.
SM	Slabă-medie (roci slab consolidate)	Argile și marne consolidate, nisipuri slab consolidate, gips, sare breccifiată etc.
M	Medie (roci mediu consolidate)	Argile, marne nisipoase și nisipuri presate, sare masivă, gresii de tărie medie, conglomerate de tărie medie etc.
MA	Medie și abrazivă (roci mediu consolidate și abrazive)	Nisipuri presate abrazive, gresii de tărie medie abrazive, conglomerate de tărie medie abrazive etc.
MT	Medie tare (roci consolidate)	Marne nisipoase presate tari, gresii compacte, nisipuri presate tari etc.
MTA	Medie tare și abrazivă (roci consolidate și abrazive)	Gresii abrazive compacte, nisipuri silicioase consolidate etc.
T	Tare (roci consolidate tari)	Dolomite, calcare dolomitice, calcare grezoase, gresii compacte tari, conglomerate tari etc.
TA	Tare și abrazivă (roci consolidate tari și abrazive)	Calcare silicioase, gresii silicioase, conglomerate abrazive tari, dolomite abrazive etc.
TEA	Tare-extratate și abrazivă (roci consolidate tari-extratate și abrazive)	Gresii silicioase tari (gresia de Kliwa), calcare dolomitice silicioase, calcare cuarțitice, roci magmatice alterate etc.
EA	Extratate și abrazivă (roci consolidate extratate și abrazive)	Cuarțite, roci magmatice nealterate, bazalt, roci eruptive abrazive etc.

După caracterul rocilor în care se sapă, sapele cu conuri fabricate în România se execută în zece tipuri, conform tabelului XI.4, dimensiunile acestora fiind date în tabelul XI.5.

Tabelul XI.5

Dimensiunile sabelor cu trei conuri

Diametrul sapei D_s		Îmbinare filetată cu umăr cep. STAS 833/1-80		Colcana de burlane care intră sapea (informativ)		Colcana de burlane pentru care se sapă (informativ)		Masa sapei (informativ) kg	
Sim- bolul diamet- rului	Dia- metrul ună- rului sapei D_s +0,4	Dia- metrul ună- rului sapei D_s +0,4	Mări- mea	Dia- metrul inter- rior minim	Mări- mea	Dia- metrul exte- rior	Diametrul exterior al mufei	Înălți- mea sapei (infor- mativ) H_s	Varianța constructivă Cu dan- spăfe- turi din exte- ricare sinteri- zate (cu jet)
$3\frac{3}{4}$	95,3	77,4	$4\frac{1}{2}$	99,6	$2\frac{3}{8}$	60,3	73,0	176	4,8
$4\frac{1}{8}$	104,8	87,4	5	108,6	$2\frac{3}{8}$	73,0	86,0	183	5,5
$4\frac{1}{2}$	114,3	97,4	$5\frac{1}{2}$	118,6	$2\frac{3}{8}$	86,0	99,0	194	6,5
$4\frac{5}{8}$	117,5	100,6	$5\frac{1}{2}$	121,4	$2\frac{3}{8}$	99,0	112,0	198	7,8
$4\frac{3}{4}$	120,7	103,8	$5\frac{1}{2}$	124,3	$2\frac{3}{8}$	112,0	125,0	202	8,2
$5\frac{3}{8}$	136,5	119,5	$6\frac{1}{8}$	144,2	$4\frac{1}{8}$	125,0	138,0	235	11,8
$5\frac{5}{8}$	142,9	125,9	$6\frac{1}{8}$	147,1	$4\frac{1}{8}$	138,0	151,0	245	12,3
$5\frac{3}{4}$	146,1	129,1	$6\frac{1}{8}$	150,4	$4\frac{1}{8}$	151,0	164,0	250	12,7
$5\frac{7}{8}$	149,1	132,1	$6\frac{1}{8}$	153,7	$4\frac{1}{8}$	164,0	177,8	250	13,2
6	152,4	135,4	$6\frac{1}{8}$	157,1	$4\frac{1}{8}$	177,8	193,7	255	13,3
$6\frac{1}{8}$	155,6	138,6	$6\frac{1}{8}$	159,4	$4\frac{1}{8}$	193,7	219,1	260	13,4
$6\frac{1}{4}$	158,8	141,8	$6\frac{1}{8}$	164,0	$4\frac{1}{8}$	219,1	244,5	262	13,6
$6\frac{1}{2}$	165,1	148,1	$6\frac{1}{8}$	168,3	$4\frac{1}{8}$	244,5	277,8	281	14,5
$6\frac{3}{4}$	171,5	154,5	$6\frac{1}{8}$	177,0	$4\frac{1}{8}$	277,8	312,0	281	15,0
$7\frac{3}{8}$	187,3	170,3	$6\frac{1}{8}$	190,8	$4\frac{1}{8}$	312,0	347,0	290	18,2
$7\frac{1}{2}$	190,5	173,5	$6\frac{1}{8}$	193,7	$4\frac{1}{8}$	347,0	382,0	322	21,0
$7\frac{7}{8}$	200,0	183,0	$6\frac{1}{8}$	203,7	$4\frac{1}{8}$	382,0	417,0	322	26,8
$8\frac{3}{7}$	212,2	195,2	$6\frac{1}{8}$	216,8	$4\frac{1}{8}$	417,0	452,0	330	30,0
$8\frac{1}{2}$	215,9	198,9	$6\frac{1}{8}$	220,5	$4\frac{1}{8}$	452,0	487,0	340	32,0
$2\frac{5}{8}$	219,1	202,1	$6\frac{1}{8}$	224,4	$4\frac{1}{8}$	487,0	522,0	340	34,8
$8\frac{3}{4}$	222,3	205,3	$6\frac{1}{8}$	226,6	$4\frac{1}{8}$	522,0	557,0	347	41,3

Sape cu diamante. Sint folosite în foraj la traversarea rocilor de categoriile VII-XII, în care nu se urmărește extragerea de carote la devierea găurilor de sondă în roci foarte tari și extra-tari precum și la forajul găurilor de sondă pentru anumite scopuri în exploatarea miniere.

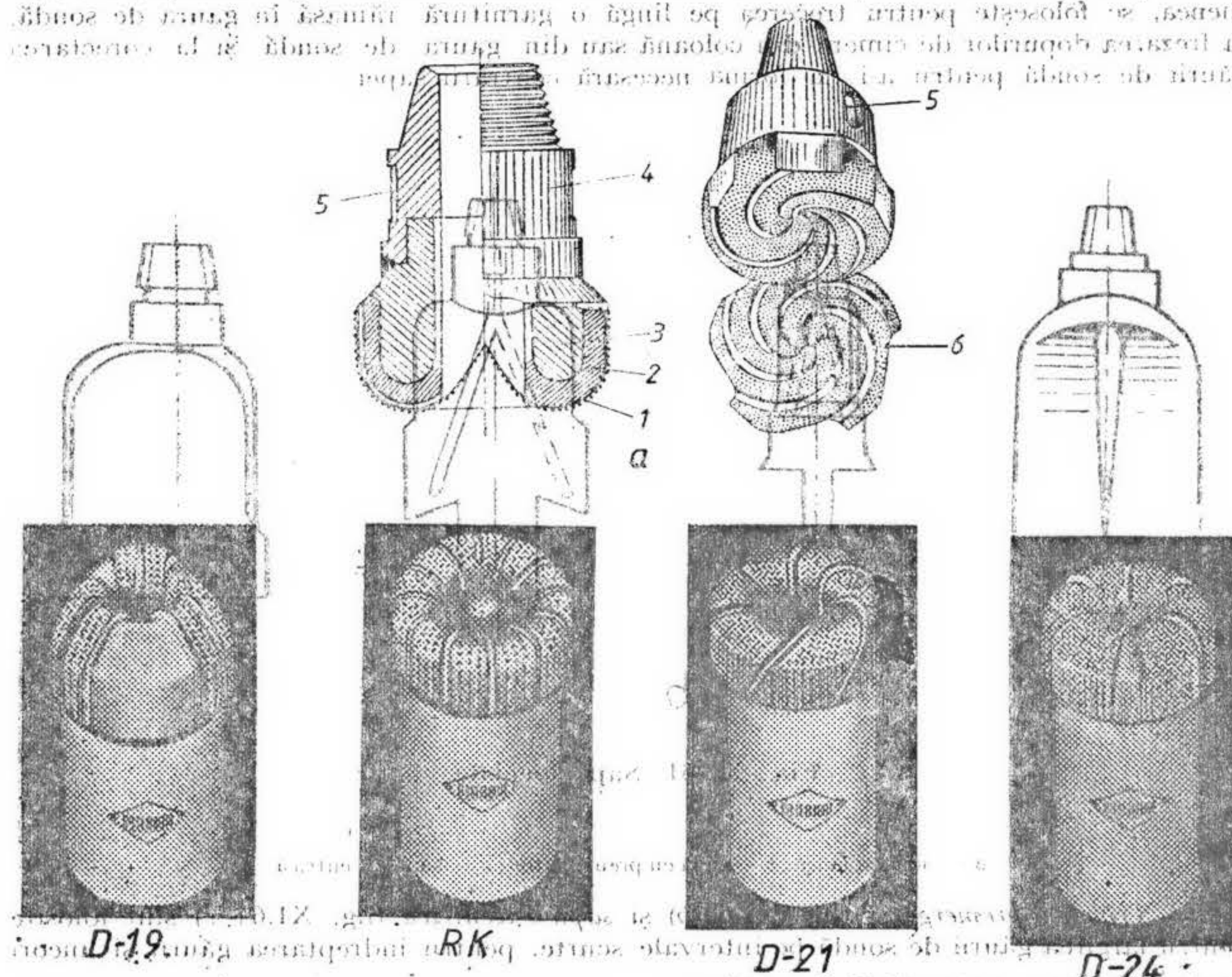


Fig. XI.60. Sape cu diamante

α — elemente constructive: 1 — diamant; 2 — matrice (metal dur plantat cu diamant); 3 — micul matrice (otel cu conținut redus de carbon); 4 — corpul legăturii filetate (otel aliat); 5 — locaș pentru stringerea sapei; 6 — canale de circulație a fluidului de foraj; β — sape DIAROM pentru forajul cu șanț.

Tipurile constructive de sape cu diamante sînt foarte diferite, atît în ce priveşte forma geometrică a sapei, cît şi amplasarea diamantelor şi a canalelor de circulaţie, urmărindu-se, prin construcţiile respective rezolvarea cît mai bună a problemelor speciale de foraj. În fig. XI.60 se dau elementele constructive ale sapei cu diamante, cum şi două tipuri folosite în roci de tărie diferită.

Caracteristicile principale de recunoaștere a diferitelor tipuri constructive sînt: căile de circulație drepte sau spirale; numărul, forma și poziția lor, suprafața de tăiere rotundă sau în formă de trepte a sapei.

d. **Alte tipuri de sape folosite în forajul cu sondeze.** *Sapa lance* sau *sapa șpit* este o sapa specială, folosită la instrumentații. Cu ea se execută pe talpa găurii de sondă o gaură conică, în interiorul căreia intră obiectele mici rămase la puț, în modul acesta putând fi mai ușor prinse de sculele de instrumentație (fig. XI.61,a). De asemenea, se folosește pentru trecerea pe lângă o garnitură rămasă în gaura de sondă, la frezarea dopurilor de ciment din coloană sau din gaura de sondă și la corectarea găurii de sondă pentru a-i da forma necesară centrării sapei.

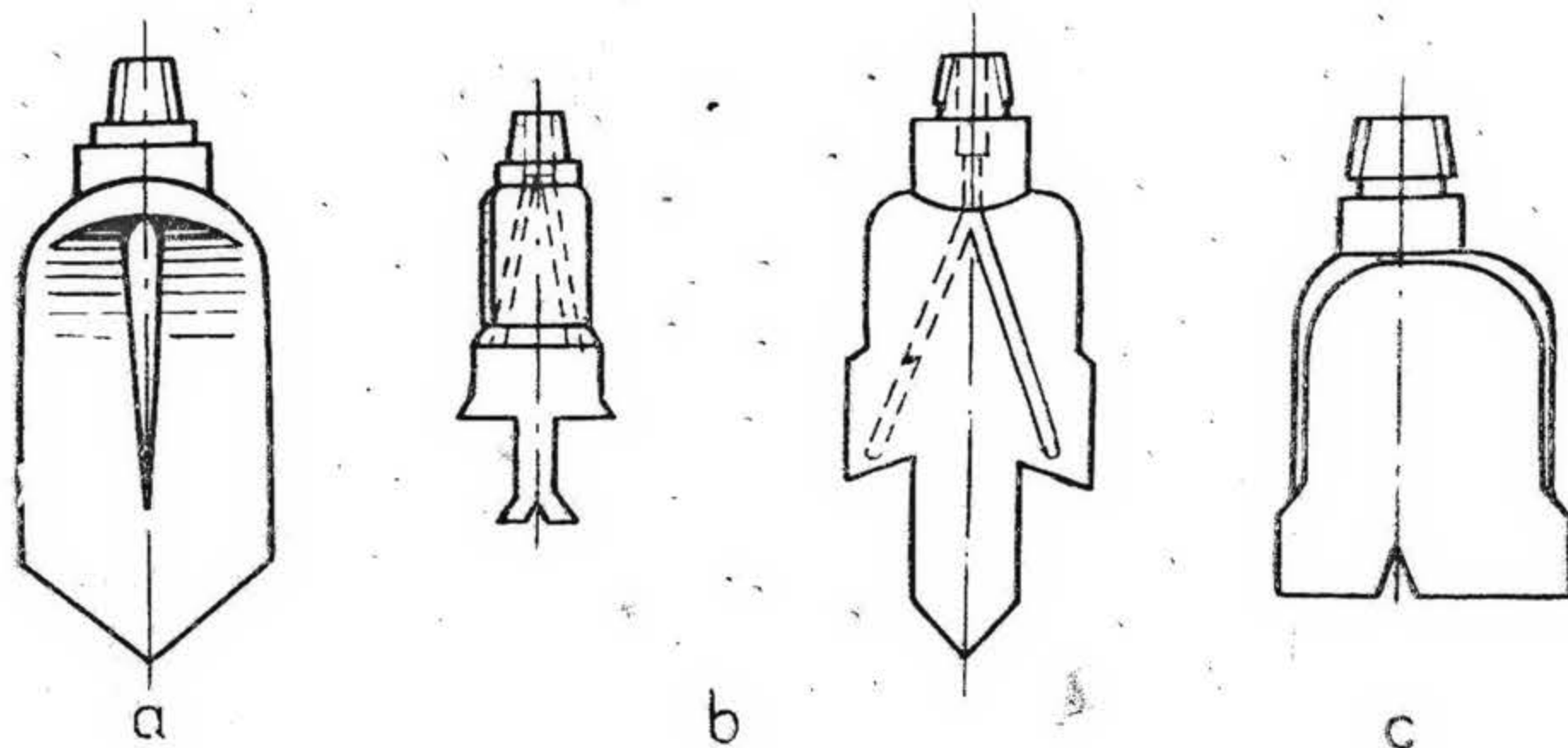


Fig. XI.61. Sape speciale

a — sapa cu lance; b — sapa cu premergător; c — sapa excentrică.

Sapa cu premergător (fig. XI.61,b) și *sapa excentrică* (fig. XI.61,c) sînt folosite pentru lărgirea găurii de sondă pe intervale scurte, pentru îndreptarea găurii și uneori pentru devierea neorientată a acesteia.

Sapa spirală se folosește pentru trecerea pe lângă o garnitură rămasă la puț.

Sapa elicoidală se folosește în forajul dirijat.

Materiale pentru construcția sabelor și pregătirea lor pentru lucru. Sapele, fiind cel mai mult solicitate și expuse uzurii, se fabrică dintr-un oțel de calitate superioară.

Sapele cu role, fiind sape complicate din punct de vedere constructiv, trebuie verificate cu toată atenția, iar cînd se ajunge pe talpă, sapa nouă trebuie supusă unui rodaj de 20—30 min, cu apăsare mică și creștere treptată pînă la apăsarea recomandabilă pentru regimul de foraj.

Sapele cu diamante sînt recomandabile în rocile tari și foarte tari. Pentru asigurarea utilizării corecte a acestor sape, atenția trebuie să fie îndreptată asupra turației, apăsării pe talpă și debitului de foraj.

3.3.2. CAROTIERE FOLOSITE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

Săparea pe secțiune inelară a tălpii găurii de sondă și extragerea probelor de teren din formațiunile străbătute de gaura de sondă se realizează cu instrumente speciale numite *carotiere mecanice*, iar probele extrase se numesc *carote*.

Extragerea probelor de teren cu ajutorul carotierelor se mai numește *carotaj mecanic*.

Carotierele mecanice pentru sondeze se clasifică în:

- | | | | | |
|--------------------|---|--------|---|---------------------------------------|
| Carotiere normale | { | simple | { | — cu pereți subțiri (pînă la 3,5 mm); |
| | | | | — cu pereți groși (peste 5,5 mm). |
| | { | duble | { | — cu tub interior fix; |
| | | | | — cu tub interior rotativ. |
| Carotiere speciale | { | | | — introductibile prin prăjini; |
| | | | | — pentru extras carote orientate; |
| | | | | — pentru extras probe laterale; |
| | | | | — hidropercutante; |
| | | | | — alte tipuri. |

Conform STAS-ului în vigoare (1595/1—80) carotierele mecanice normale se clasifică în:

- | | | | | |
|----------------------------|---|--------|---|---|
| Carotiere mecanice normale | { | simple | { | — tip G |
| | | | | — tip T |
| | | duble | { | — cu tub interior rigid (grupa 1) { — tip G |
| | | | | — tip T |
| | | | { | — cu tub interior rotitor (grupa 2) { — tip G |
| | | | | — tip T |
| | | | | — tip M |
| | | | | — tip F |

Tipul G de carotieră simplă sau dublă se caracterizează prin aceea că efortul de rupere se preia exclusiv de tubul exterior, prin montarea reținătorului de probă în coroană, iar spălarea tălpii găurii de sondă se face pe lângă carotă.

Tipul T de carotieră este similar cu tipul G, avînd însă diametrul probei extrase mai mare prin micșorarea grosimii tubului carotier.

Tipul M este o carotieră dublă la care efortul de rupere se preia exclusiv de tubul interior, prin montarea în interiorul acestuia a reținătorului de probă prin intermediul unei casete, iar spălarea tălpii găurii de sondă se face pe lângă probă (descărcare laterală).

Tabelul XI.7

Caracteristici tehnice ale carotierelor mecanice duble

Simbolul carotierei	Diametrul exterior al capului de carotieră	Tipul capului	Diametrul exterior, D, al carotierei	Filetul de legătură la prăjini	Diametrul carotei	Lungimea carotierei, L	Lungimea de carotaj
	mm		mm			mm	
EWG-1	37,46	cu știfturi sau cu lame	36	EW	21,34	1835	
AWG-1	47,75	cu diamante	46	AW	29,9	3335	
BWG-1	59,69	cu știfturi sau cu diamante	58	BW	41,9	1835	1500
NWG-1	75,44	cu știfturi sau cu lame	74	NW	54,6	3370	3000
HWG-1	98,98	cu diamante	95	HW	76,07	3535	

Carotiera introductibilă constă dintr-un tub exterior (fig. XI.64) și unul interior rotativ care este suspendat pe un ansamblu de rulmenți. Introducerea și extragerea carotierei prin prăjini se face cu ajutorul unui troliu mecanic prevăzut cu cablu de $\varnothing 4-5$ mm, acționat de un motor. După executarea unui marș de lungime egală cu cea a tubului interior se extrage, fără ajutorul unei corunci cu geală, numai tubul interior care are în interiorul său carota. Carotiera este echipată cu scule de manevră, montaj și reglaj.

În tabelul XI.8 sînt date caracteristici tehnice ale carotierelor introductibile pentru sondeze.

Tabelul XI.8

Caracteristici tehnice ale carotierelor introductibile

Simbolul carotierei	Diametrul exterior al capului de carotieră, D	Lungimea carotierei, L	Filetul mufei de legătură la garnitura de prăjini	Diametrul probei	Lungimea de carotaj
	mm	mm		mm	mm
AI	46,07	2370 sau 3870	AQ	27	
BI	57,2	2380 sau 3880	BWL	36,27	1500 sau 3000
NI	73,0	2455 sau 3955	NWL	47,50	
HI	92,1	4065	HWL	63,37	3000

3.3.3. COROANE SAU CAPETE DE CAROTIERĂ

Coroana, sau capul de carotieră, numită și *freză*, execută tăierea rocii pe spațiul inelar. Ea are forma unui cilindru gol, cu grosimea peretelui de 6–22 mm și cu înălțimea o dată sau de două ori cît diametrul coroanei.

Coroana este prevăzută la capătul de sus cu un filet dreptunghiular (dreapta) și cu opt spire pe țol, pentru a se putea înșuruba la tubul carotierei, iar capătul de jos este neted sau prevăzut cu dinți pentru a se putea fixa armătura respectivă.

După natura rocilor în care se sapă și după sistemul de foraj, se disting (fig. XI.65, a, b, c, d, e, f și g):

— coroane armate cu aliaje dure (carburi metalice);

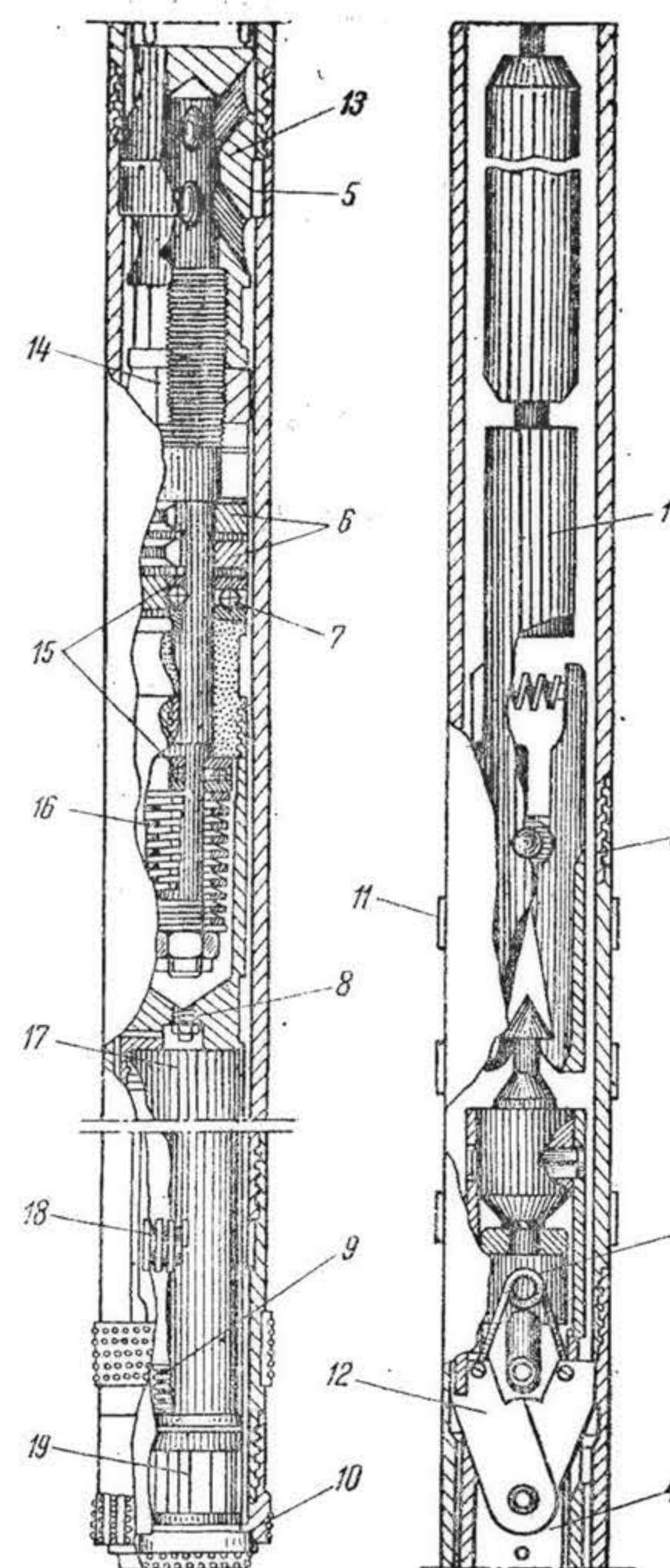


Fig. XI.64. Carotieră introductibilă prin prăjini seria Q:

1 - coruncă; 2 - mufa reducăției superioare cu filet; 3 - arcul clișeilor; 4 - suportul clișeilor; 5 - prag de fixare; 6 - garnituri de semnalizare; 7 - ax cu rulmenți; 8 - gresor; 9 - inel opritor al arcului reținător de probă; 10 - secțiunea interioară a coroanei; 11 - suprafață tratată cu aliaj de bor; 12 - clișeii; 13 - umărul de fixare al ansamblului interior; 14 - piuliță de reglaj a spațiului dintre sabotul piesei port-arc și umărul interior al coroanei; 15 - rulmenți axiali; 16 - arc de compresie; 17 - tub interior; 18 - centroz; 19 - arc prinzător de probă.

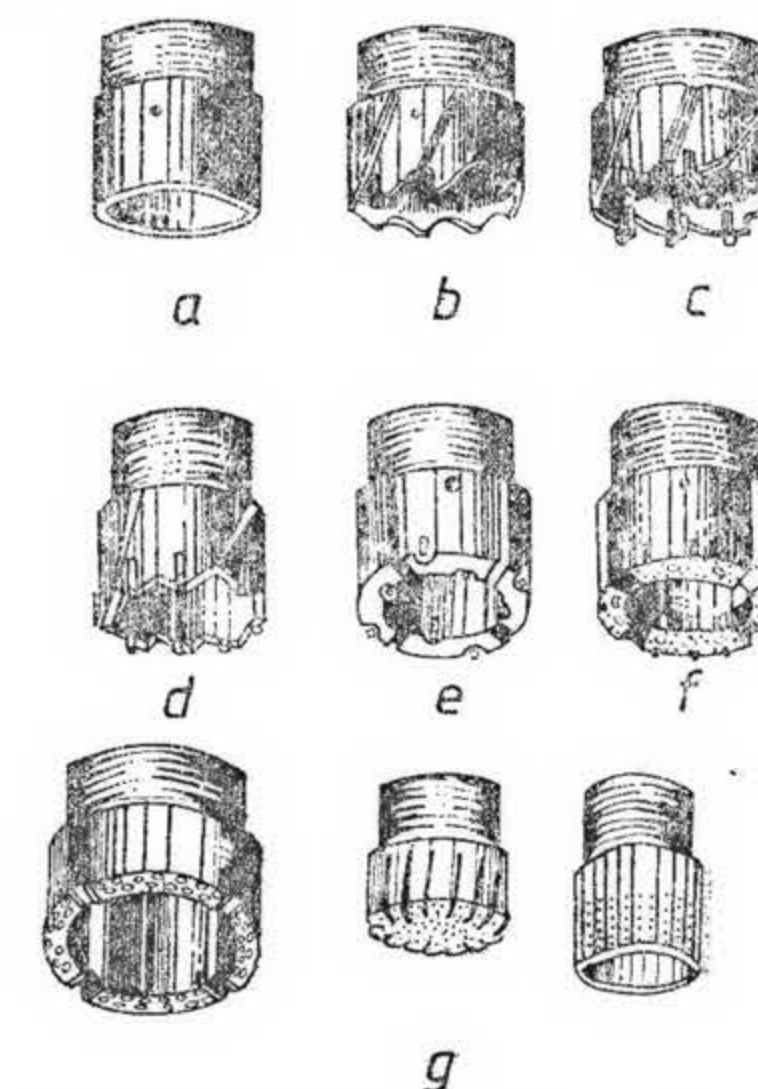


Fig. XI.65. Coroane de carotiere: a - nearmată; b - dințată nearmată; c și d - armate cu aliaje dure; e și f - armaie prin ciocănire și sudură; g - cu inserții de diamante.

coroane cu diamante;
— coroane cu armatură mixtă (carburi metalice și diamante).
Coroanele se construiesc de obicei din burlane de oțel cu rezistența la rupere pe 40 daN/mm² cu un conținut de carbon de 0,3—0,4%.
Dimensiunile uzuale ale coroanelor folosite în forajul de explorare sunt date în tabelul XI.9.

Tabelul XI.9

date tehnice privind coroanele cu diamante, alezoare și carotiere

Simbolul carotierei	Simbolul coroanei	Diametrul tăietor al coroanei	Diametrul exterior al manșonului alezor
		Exterior [mm]	Interior [mm]
A. Simple			
BSV	E	36	22
CSV	A	46	32
DSV	B	59	42 (40)
ESV	N	76	53
ESV	H	93	68
FSV	He	98	68
GSV	P	112	88
GSV	Pc	120	88
B. Duble			
EDV	N	76	44
FSV1	H	93	60
GDV	P	112	78
C. Seria D-3			
AXD	AXD-3	47,6	28,7
BXD	BXD-3	59	40,9
NXD	NXD-3	76	52,2
NCD	NCD-3	93	61,1
D. Seria O			
AQ	AQ	47,6	26,9
BQ	BQ	59	36,3
NQ	NQ	76	47,5
HQ	HQ	98	63,5

Pe lângă dimensiunile arătate în acest tabel se admit toleranțe de ± 20 mm. Aceste toleranțe sunt admise și pentru tășurile aliajelor dure.

Pentru circulația noroiului la talpa găurii de sondă, coroanele sunt prevăzute cu mai multe canale interioare drepte sau înclinate.

a. Coroane cu aliaje dure. Coroana cu inserții de materiale dure este constituită dintr-o piesă cilindrică de oțel, prevăzută la partea superioară cu cep sau mufă pentru

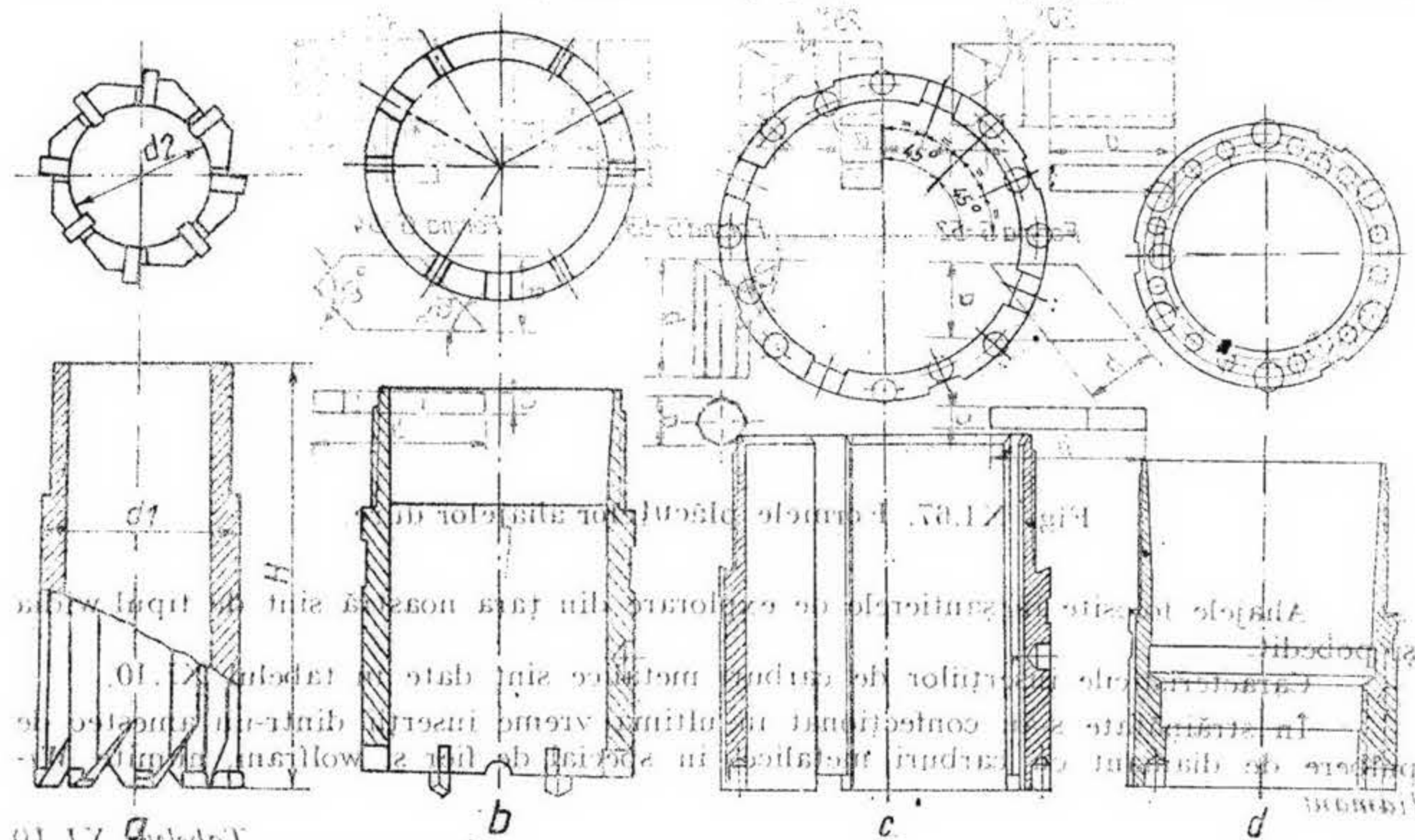


Fig. XI.66. Coroane de carotieră armate cu aliaje dure:

a — coroană cu paleți; b — coroană simplă cu plăcuțe insertate la distanțe egale; c — coroană simplă cu plăcuțe insertate în sectoare; d — coroană dublă, monobloc, cu descărcare frontală și cu plăcuțe insertate în sectoare.

înfiletarea sa la carotieră — fie direct, fie prin intermediul unui niplu — iar la partea inferioară o dantură — fie sub formă de paleți tăiați în corpul cilindric, fie locașuri cilindrice pe diametrul interior și exterior și pe care, respectiv în care, se fixează plăcuțele de aliaje dure (fig. XI.66). Prin canale tăiate pe fața frontală de atac la carotierele simple sau prin canale practicate în peretele coroanei la carotierele simple sau prin canale practicate în peretele coroanei la carotierele duble se asigură circulația fluidului de foraj la talpa.

Coroanele cu paleți se folosesc în roci de categ. I—IV, putând avea 4, 6 sau 8 paleți, iar cele cu dantură insertată în roci de categ. IV—VIII.

Aliajele dure folosite pentru armarea coroanelor în forajul cu sondeze sunt aliaje metalo-ceramice. Plăcuțele de aliaje dure pot fi rombice, trapezoidale, dreptunghiulare sau octogonale (fig. XI.67).

Pentru aplicarea plăcuțelor de aliaje dure se marchează pe talpa coroanei locașurile pentru plăcuțe, care se execută prin sfredelire sau prin pilire. Adîncimea locașurilor trebuie să fie astfel aleasă încît plăcuța să rămînă deasupra feței

coroanei, pe o porțiune care să permită ascuțirea ei. Lipirea se face cu aramă, în cazul când se dispune de un cuptor cu păcură sau electric și cu alamă, folosind pentru lipire lampa cu benzină.

Pentru rocile moi ascuțirea plăcuțelor se face la un unghi de 44–55°, iar pentru rocile mai tari și fisurate la un unghi de 60–65°.

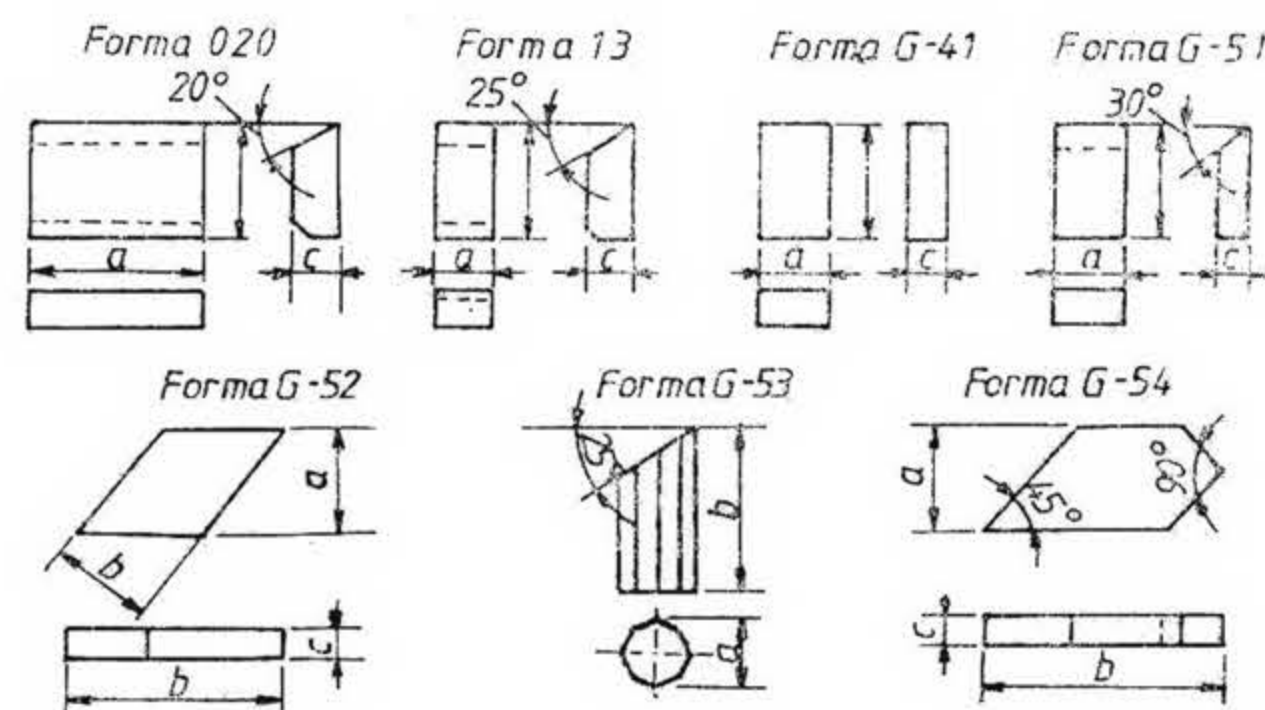


Fig. XI.67. Formele plăcuțelor aliajelor dure.

Aliajele folosite în șantierele de explorare din țara noastră sînt de tipul widia și pobedit.

Caracteristicile inserțiilor de carburi metalice sînt date în tabelul XI.10.

În străinătate s-au confecționat în ultima vreme inserții dintr-un amestec de pulbere de diamant cu carburi metalice, în special de fier și wolfram, numite *Widiamant*.

Tabelul XI.10

Caracteristicile inserțiilor de carburi metalice

Varietatea de Pobedit	Conținutul de metale rare		Proprietăți fizico-mecanice			
	Cobalt	Carburi de wolfram	Rezistența la încovoiere [daN/cm ²]	Duritatea Rockwell (HRC) după scara C	Greutatea specifică [daN/dm ³]	Correspondența cu variația de material dur după normele DIN
VK-2	2	98	100	90,0	15,0...15,4	—
VK-3	3	97	100	89,0	14,9...15,3	H ₁
VK-6	6	94	120	88,0	14,6...15,0	G ₂
VK-8	8	92	130	87,5	14,4...14,8	G ₁
VK-10	10	90	135	87,0	14,2...14,6	S ₂
VK-11	11	89	150	86,0	14,0...14,4	—
VK-15	15	85	160	86,0	13,9...14,1	—

Carburile metalice se aleg în funcție de natura rocilor. Astfel, pentru forajul în roci moi și semitari (categoriile I–IV) se folosesc inserții de carburi metalice de forma G-413, G-414, G-514 și G-515, pentru forajul în roci tari (categoriile V–VI) inserții de forma G-511, G-512 și G-513, iar pentru roci foarte tari (categoriile VII–VIII) inserții de forma G-531 și G-533.

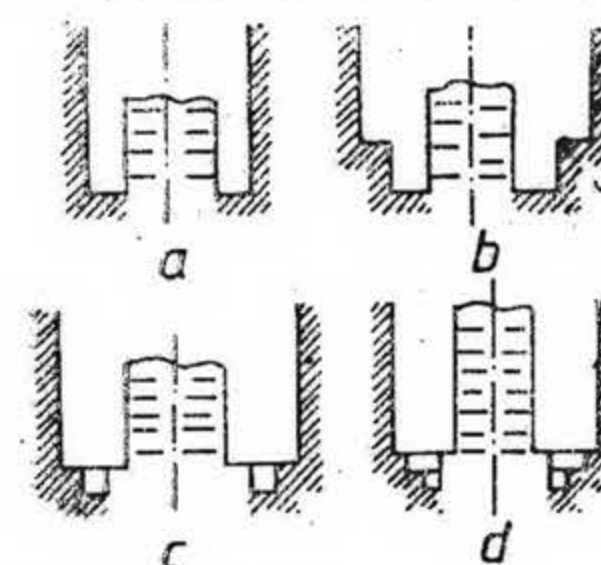


Fig. XI.68. Schema profilului talpii găurii de sondă:

a — drept; b — cu două trepte; c — cu două trepte simetrice; d — cu trei trepte.

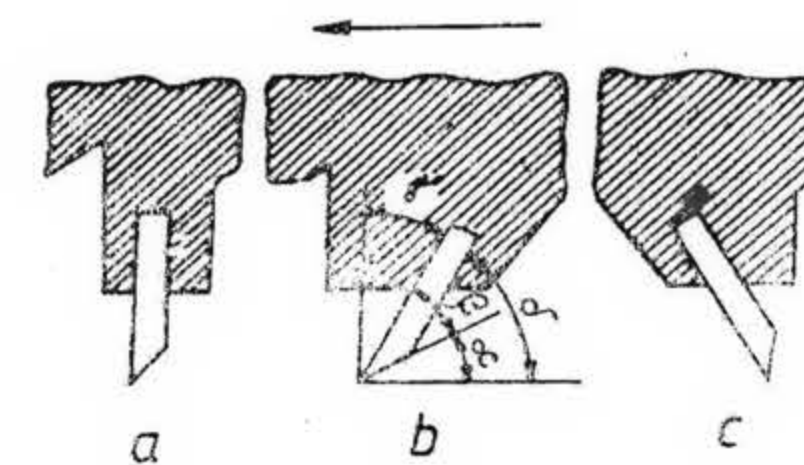


Fig. XI.69. Schema de fixare a inserțiilor în coroană:

a — inserție verticală; b — inserție înclinată sub un unghi pozitiv; c — inserție înclinată sub un unghi negativ.

Aliajele dure se inserțează pe unul, două sau trei rînduri.

Elementele noi care au survenit în construcția coroanelor cu aliaje dure constau, pe de o parte, în folosirea inserțiilor de dimensiuni mici care realizează suprafețe inelare de tăiere mici și în consecință viteze mari de avansare, iar pe de altă parte, așezarea inserțiilor la diferite nivele față de capul coroanei, ceea ce permite crearea de suprafețe de tăiere în trepte, obținându-se în felul acesta o dislocare mai ușoară a rocii (fig. XI.68).

Un alt element este așezarea inserțiilor sub unghiuri negative (mai mari de 90°). În felul acesta inserțiile se distrug mai puțin și au o uzură mai mică. Unghiurile notate în figură au următoarea semnificație: δ — unghiul de tăiere; γ — unghiul de atac; α — unghiul de așezare a inserției și β — unghiul de ascuțire a inserției (fig. XI.69).

Regimul de foraj pentru coroanele cu aliaje dure. În forajul cu aliaje dure, corelarea apăsării pe talpă cu turația și cu debitul fluidului de foraj variază în limite foarte largi, în funcție de natura rocilor în care se forează. Variația acestor parametri în funcție de tăria rocilor este dată în tabelul XI.11.

Apăsarea axială totală. Este egală cu produsul dintre numărul de inserții al coroanei și forța de apăsare. Se recomandă ca apăsarea pe o inserție să fie mai mare decât produsul dintre suprafața de contact a inserției cu roca și rezistența rocii la strivire. Dacă nu este îndeplinită această condiție, fie că se va produce o zgîrîiere a rocii și o uzură pronunțată a coroanei, fie că va avea loc o spargere și o desprindere a inserțiilor dacă apăsarea este prea mare. În fig. XI.70 se arată influența apăsării axiale asupra vitezei de foraj.

În practica explorărilor de pînă acum s-a calculat apăsarea pe talpă de 100–120 daN pe un dinte în formă de placă la forarea în rocile mai tari și de 50–80 daN pe un dinte la forarea în roci de tărie mijlocie. În roci moi, argiloase, apăsarea pe un

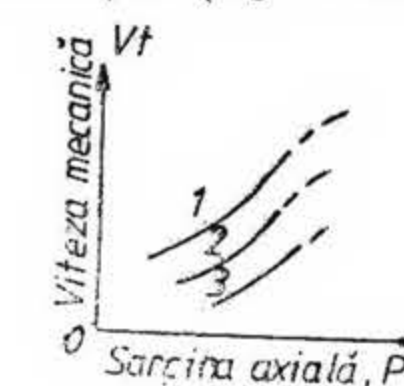


Fig. XI. 70. Influența apăsării axiale asupra vitezei de foraj:

1 — condiții ideale; 2 și 3 — cu spălare insuficientă.

dintre scade și mai mult. În tabelul XI.12 este dată valoarea apăsării axiale necesară în forajul cu carburi metalice în funcție de diametrul găurii și de țara rocilor în care se forează.

Tabelul XI.11

Parametrii specifici ai regimului de foraj cu carburi metalice

Parametrul	În roci moi I—IV	În roci tari V—VI	În roci foarte tari VII
Apăsarea pe un dinte, daN	40—60	80—100	120
Viteza periferică, m/s	1,5—2,00	2,0—1,5	1,0
Debitul fluidului de foraj (l/min) pentru 1 cm din diametrul capu- lui de carotieră	12—14	14—12	12—10

Turatia si viteza medie periferică a coroanei se stabilesc cu relatia:

$$\left(\frac{D+d}{2}\right)^n$$

în care: D este diametrul exterior de tăiere al coroanei, m; d — diametrul interior de tăiere al coroanei, m; n — turatia garniturii, m/min; v — viteza medie periferică a coroanei, m/s; v_1 și v_2 — viteza periferică ce se recomandă pentru coroanele cu aliaje dure variază între 1 și 2 m/s, după natura rocii, așa cum rezultă din tabelul XI.13.

Tabelul XI.12

Apăsarea axială necesară în forajul cu carburi metalice 673160 31 903

Diametrul exterior al capului de carotieră [mm]	Categorii de tarie a rocilor		
	IV	V	VI
46			400
59		300—350	500
66		350—400	750
93		480—600	1000
98	250—350	650—800	
112		800—1000	1200
120	400—600		
152		1200—1400	1500

Influența turăției asupra vitezei mecanice: Din încercările de laborator, în care sarcina axială și debitul de spălare s-au menținut constante și turăția a fost variată astfel încât viteza periferică să fie de 50—360 cm/s, rezulta că:

— adăncimea de pătrundere se menține practică constantă când n crește, iar când $n > n_c$ (turația critică) uzura crește mult mai repede decât n .

Influența debitului de noroi asupra vitezei mecanice. La forajul fără carotaj, viteza de foraj crește proporțional cu debitul Q (fig. XI-71). La forajul cu carotaj continuu, debitul necesar este mult mai mic, deoarece:

— volumul de rocă dislocată este mai mic, cel mult 3/4 din volumul găurii de sondă.

În general, se recomandă ca cifră orientativă debitul de 10–12 l/min pentru un centimetru din diametrul coroanei.

În ultimul an, pe șantierele noastre s-a extins mult forajul cu diamante, prin care se realizează o viteză mecanică medie mult sporită față de forajul cu alică sau cu widia în rocile de categoriile VII—XIII — (10)

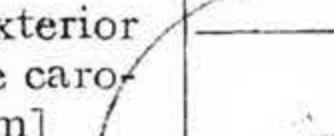
Valoarea debitului de fluid de foraj în funcție de diametrul coroanei și de tăria rocilor este redată în tabelul XI.14.

b. **Coroane cu diamante.** Coroanele cu diamante au ca elemente constructive (fig. XI.72):

— corpul de otel 1 prevăzut cu filet la partea superioară;

— matricea 3 în care sînt fixate diamantele 4 și care dă forma coroanei. Matricea este constituită dintr-o pulbere de material dur, rezistent la abraziune, din care se face o pastă în care se aplică diamantele și apoi se încălzește în cuptoare speciale la o anumită temperatură;

Tabelul XI.13

Turația necesară la forajul cu carburi metalice [cm/s]			
Diametrul exterior al capului de carotieră [mm]	Categorizația de tărie a rocilor		
	I—IV	V—VI	VII
46		800—600	400
59		600—450	300
76		500—375	250
93		400—300	200
98		—	175
112	300—400	—	125
120	250—300	250—150	
152			

— miezul de oțel 2 care face legătura între corpul de oțel 1 și matricea 3.

Elementele functionale ale capetelor de carotieră cu diamante sînt: filetul de legătură 5, pentru racordarea la carotieră, locașul 6 din corpul metalic al sculei, nut sau orificiu, marginea carotierei 7 (de calibrare), suprafața de tăiere 8 (sectoare cu diamante), canalele de circulație 9, orificiile pentru descărcarea fluidului 10 și degajările 11.

După modul de aranjare a diametrelor pe fața frontală, coroanele cu diamante pot fi:

- cu un singur strat de diamante;
- cu mai multe straturi de diamante;
- cu diamante impregnate (cu spărturi de diamante).

Tabelul XI.14

Debitul de fluid necesar la forajul cu carburi metalice (l/min)

Diametrul exterior al capului de carotieră, mm	Categorია de tărie a rocilor		
	I—IV	V—VI	VII
46	—	65—55	50
59	—	80—70	60
76	—	100—90	80
93	—	130—110	95
98	120—140	—	—
112	—	155—135	120
120	140—165	—	—
152	—	210—180	160

La executarea coroanelor cu diamante se folosesc diamante industriale. Există trei varietăți de diamante folosite în scopuri tehnice:

- varietatea *carbonado* sau *diamantul negru*;
- varietatea *ballas*;
- varietatea *boart*, *bort*, *bortz*.

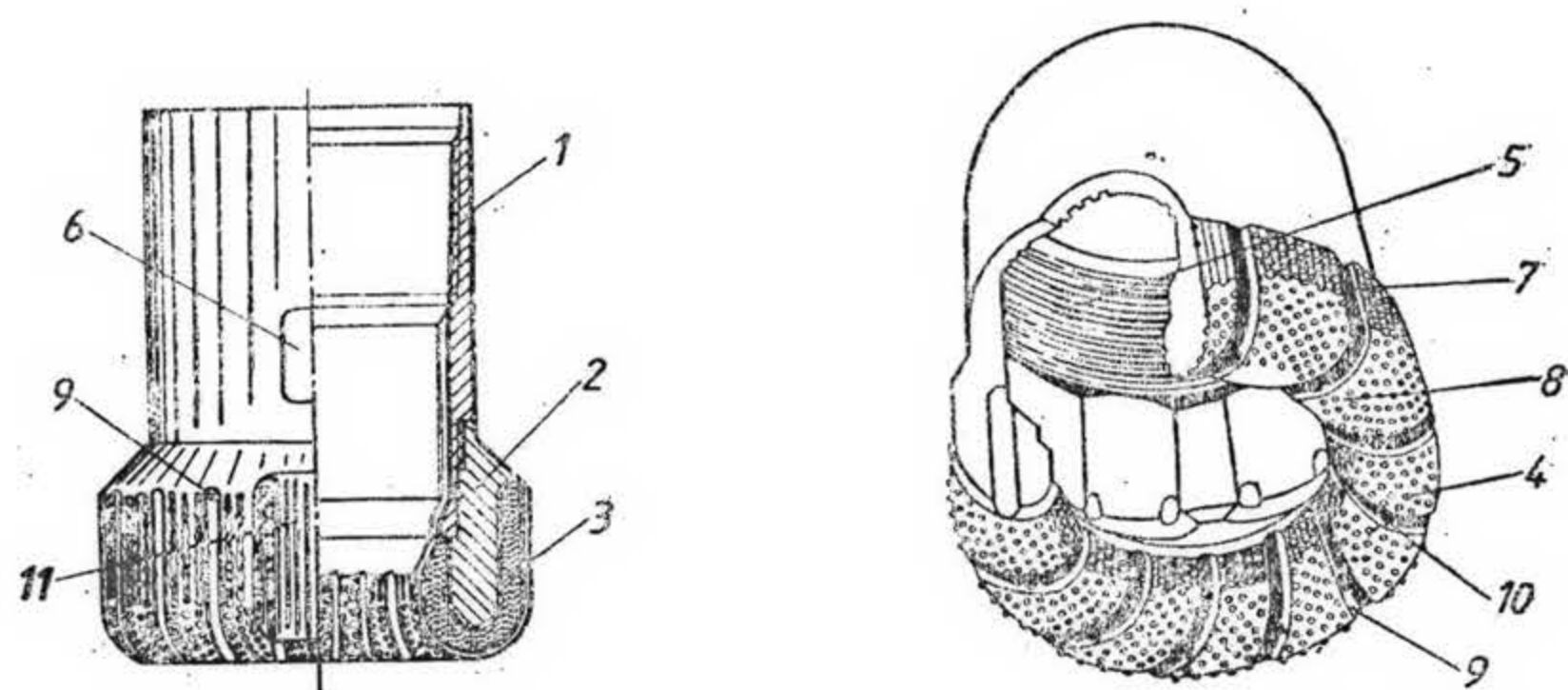


Fig. XI.72. Elementele constructive și funcționale ale coroanei cu diamante.

Diamantele *carbonado* sînt lipsite de porozitate și clivaj și se caracterizează prin rezistență mare la uzură și la șocuri. Se utilizează pe scară redusă la foraj și numai în cazul rocilor foarte tari și abrazive, fiind foarte scumpe.

Diamantele *ballas* sînt de asemenea lipsite de porozitate și se prezintă sub forme aproape sferice. În jurul miezului au un înveliș tare, ce le face apte pentru forajul în roci tari și abrazive.

Diamantele *boart* sînt mai puțin rezistente decît varietățile de carbon și *ballas*. Denumirea de *boart* se dă pentru toate sorturile de diamante cu structură cristalină paralelă și forme neregulate, nefolosite ca bijuterii. Reprezintă varietatea diamantelor

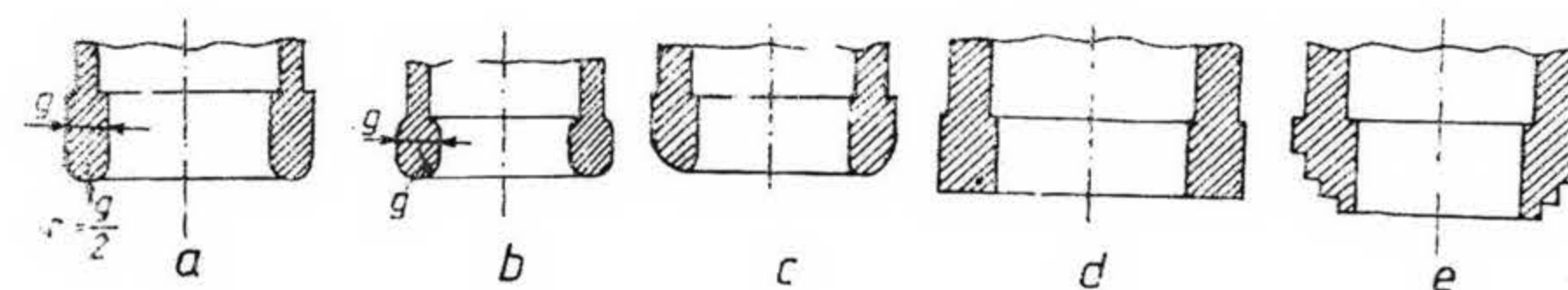


Fig. XI.73. Diferite profile ale coroanelor cu diamante.

cu cele mai largi utilizări în tehnica forajului. Se mai numesc și *boarturi sparte*. Sînt ieftine și se pretează la fabricarea coroanelor impregnante.

Un element important în construcția coroanelor cu diamante este forma profilului coroanei (fig. XI.73). Cele mai folosite profiluri în forajul de explorare sînt:

- *profilul rotund*, cu raza de curbura aproximativ egală cu jumătatea grosimii peretelui coroanei (fig. XI.73, a);
- *profilul semirod*, cu raza de curbura a feței frontale egală cu grosimea pereților coroanei (fig. XI.73, b);
- *profilul cupolă*, cu o rază mare de rotunjire la exterior și mai mică la interior. Acest profil este indicat să fie utilizat la traversarea formațiunilor mai puțin tari și cu tendințe de deviere (fig. XI.73, c);
- *profilul plat*, cu fața frontală plată și marginile ușor rotunjite. În terenurile abrazive diamantele se uzează repede, din care cauză apare și instabilitatea pe talpă și tendința de deviere (fig. XI.73, d);
- *profilul în trepte*, cu forma în trepte a suprafeței frontale, fiecare treaptă depășind pe cea următoare cu cîțiva milimetri. Această formă asigură o bună centrare a carotierei pe talpă (fig. XI.73, e).

Alte profile se confecționează și se utilizează în condiții specifice de lucru, cum ar fi forajul în roci friabile, sfărîmicioase etc.

Ca și coroanele cu vidia, coroanele cu diamante se construiesc pentru lucru cu carotiere simple și carotiere duble. La coroanele pentru carotiera dublă circulația fluidului de foraj la talpa găurii de sondă se face prin orificii ce trec prin fața frontală a coroanei, evitîndu-se în felul acesta spălarea probei de rocă la talpă.

O coroană cu diamante se caracterizează prin diametrul exterior, diametrul interior de tăiere a probei, mărimea diamantelor, tăria matricei, profilul coroanei, numărul de canale și forma acestora, caratajul coroanei (greutatea în grame a diamantelor cu care a fost insertată coroana) și seria sa. În forajul de explorare cu sondeze, cel mai des folosite sînt coroanele cu diametrul exterior de 37 mm, 46 mm, 59 mm, 76 mm și 93 mm (v. tabelul XI.15).

La baza filetelui fiecărei coroane este marcată fabricația coroanei (Diarom, Cris-tensen etc.), iar prin litere se indică țaria matricei și seria coroanei. În fig. XI.74 se dau câteva tipuri de capete de carotieră cu diamante de fabricație indigenă DIA-ROM.

În tabelul XI.15 sînt date tipurile de coroane și manșoane alezore armate cu diamante sau cu carburi metalice și dimensiunile acestora, conform STAS 1595/1-80.

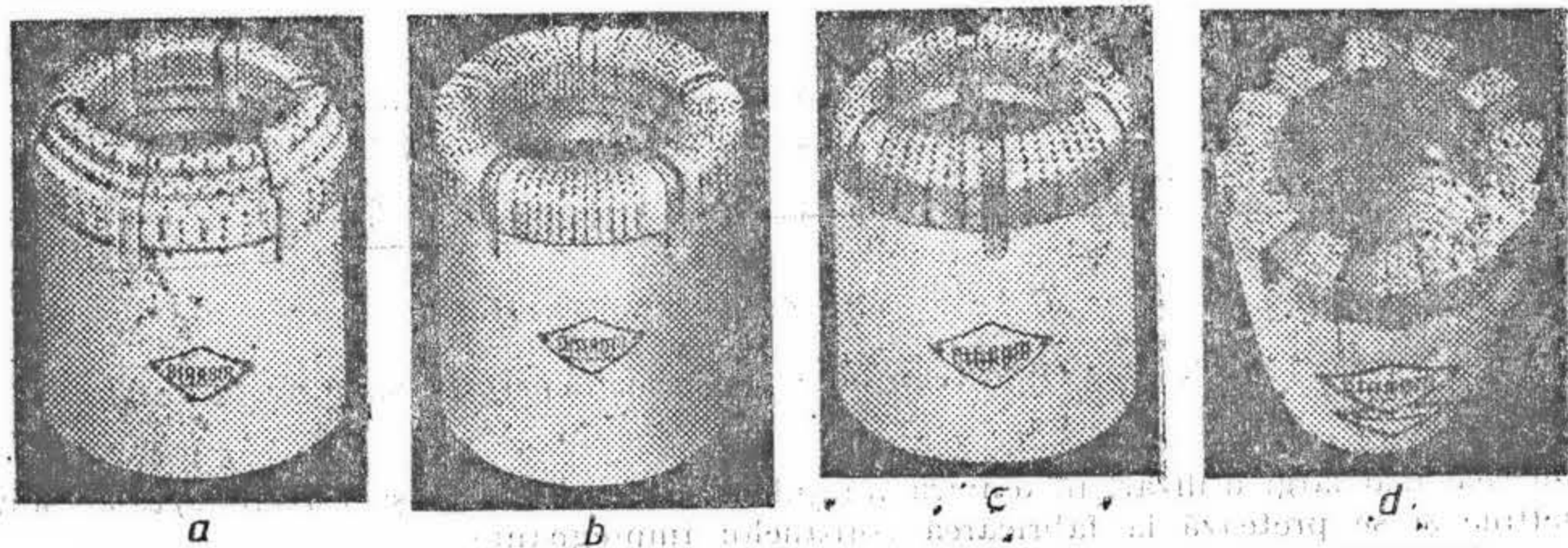


Fig. XI.74. Tipuri de capete de carotieră cu diamante de fabricație DIAROM:

a — coroană inserată cu profil în trepte; b — coroană inserată cu profil W; c — coroană inserată cu profil E; d — coroană inserată tip Alfa.

Procesul dislocării rocilor în forajul cu diamante și regimul de foraj. Procesul dislocării rocilor de către corocanele cu diamante se poate compara cu dislocarea prin așchiere, pe care o realizează frezele cu inserții cu unghi negativ. Date fiind dimensiunile reduse ale elementelor active, procesul de dislocare a rocilor de către corocane cu diamante este, de fapt, o dislocare prin presare și zgîriere.

Asimilind procesul de dislocare cu un proces de așchiere, fiecare diamant joacă rolul unui cuțit.

După experiențele efectuate în roci de natură diferită, s-au tras următoarele concluzii:

- viteza de avansare crește cu numărul de rotații n ;
- consumul de diamante este minim cînd turația este în jurul 1.000 rot/min;
- o turație prea ridicată sau o apăsare prea mică este dezavantajoasă, deoarece se polizează diamantele fără a realiza o avansare corespunzătoare;

— viteza de avansare depinde de caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor traversate și este cu atât mai mare cu cît corocana conține mai multe diamante.

În fig. XI.75 este reprezentată variația vitezei în funcție de sarcina axială obținute la forajul cu corocane cu diamante în sisturi cloritoase.

După experiența din santierile noastre, viteze bune de foraj se obțin cu următorul regim de foraj:

- apăsarea 11—25 daN/carat pentru corocanele monostrat și 50 daN/carat pentru corocanele polistrat;
- turația 100—880 rot/min;
- debitul 4—5 l/min de fiecare centimetru de diametru al corocanei.

Tabelul XI.15

Coroane și manșoane alezore armate cu diamante sau cu carburi metalice

Simbolul diame- trului nominal	Diametrul exterior max min [mm]		Simbolul carotierei la care se utilizează coroana			
	Coroană	Manșon alezor	WF	WG	WM	WT
E	37,46 37,21	37,85 37,59	—	EWG	EWG	EWG
C	46,10	46,50	—	—	—	—
A	45,90 47,75	46,30 48,13	—	EWG	AWM	AWT
D	47,50 59,10	47,88 59,50	—	—	—	—
B	58,90 59,69	59,30 60,07	—	—	—	—
J	59,44	59,82	—	—	—	—
N	76,10 75,90	76,50 76,30	—	—	—	—
K	75,44 75,18	75,82 75,56	—	—	—	—
L	93,10 92,90	93,50 93,30	—	—	—	—
P	112,10 111,90	112,50 112,30	—	—	—	—
W	120,27 119,76	120,78 120,40	PWF	—	—	—
V	152,10 151,90	152,50 152,30	—	—	—	—

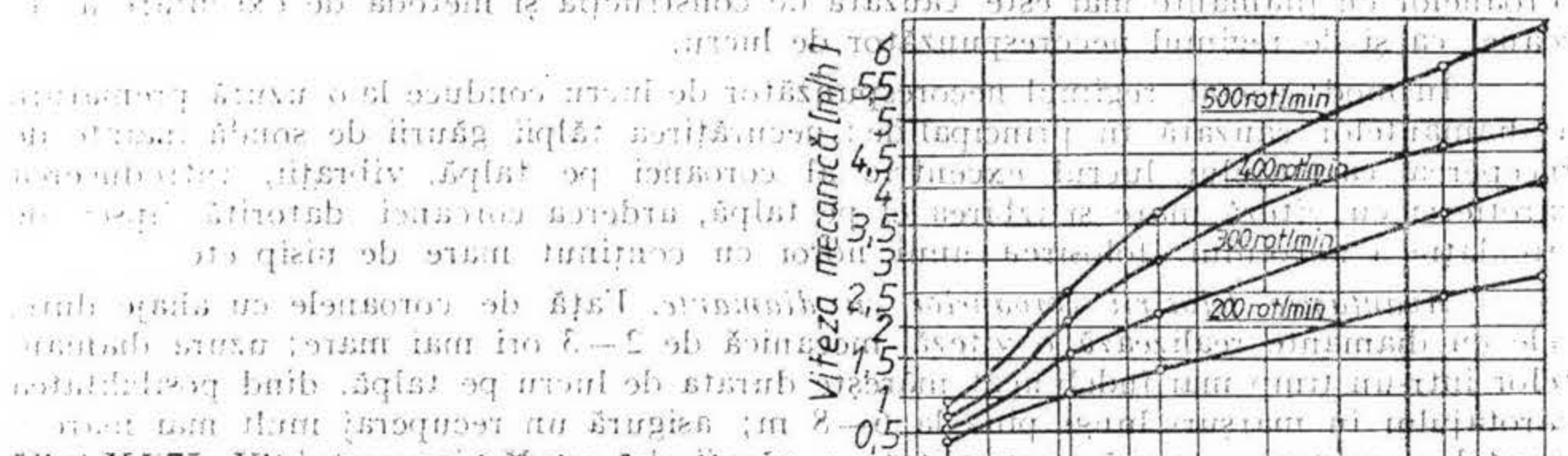


Fig. XI.75. Viteza mecanică în funcție de sarcina axială la forajul cu diamante în sisturi cloritoase.

Valoarea orientativă a parametrilor regimului de foraj pentru coroanele cu diamante este dată în tabelul XI.16.

Consumul de diamante (uzura). Uzura coroanelor cu diamante se exprimă în carate. Ea se datorește frecării și șocurilor. În terenuri omogene are loc uzura prin frecare.

Tabelul XI.16

Valoarea orientativă a parametrilor regimului de foraj pentru coroanele cu diamante

Dimensiunea și tipul coroanei [mm]	Apăsarea [daN]		Turația [rot/min]		Debitul [l/min]	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
112 × 88 insertate	1000	2000	170	330	120	190
impregnate	1400	2500	170	170	120	190
93 × 68 insertate	800	1700	210	410	75	110
impregnate	1100	2200	210	410	75	110
93 × 40 insertate	1000	2200	210	410	75	110
impregnate	1400	2400	210	410	75	110
76 × 53 insertate	700	1500	250	500	40	60
76 × 44 insertate	700	1500	250	500	45	70
impregnate	1000	1800	250	500	45	60
59 × 42 insertate	600	1000	320	650	30	40
impregnate	800	1300	320	650	30	40
46 × 32 insertate	500	800	310	820	20	30
impregnate	700	1000	410	820	20	30

Apăsarea minimă este dată pentru coroanele cu diamante cu granulație mare, iar apăsarea maximă pentru coroanele cu diamante cu granulație mică.

Uzura prin șocuri are loc atunci când se forează în terenuri eterogene, fisurate, cu alternanțe de roci tari și moi și în strate cu înclinare mare.

În afară de proprietățile fizico-mecanice ale rocilor prin care se forează, uzura coroanelor cu diamante mai este cauzată de construcția și metoda de executare a coroanei ca și de regimul necorespunzător de lucru.

În mod special, regimul necorespunzător de lucru conduce la o uzură prematură a diamantelor cauzată în principal de: necurățirea tălpii găurii de sondă înainte de începerea carotajului, lucrul excentric al coroanei pe talpă, vibrații, introducerea carotierei cu viteză mare și izbirea ei pe talpă, arderea coroanei datorită lipsei de circulație a noroiului, folosirea unui noroi cu conținut mare de nisip etc.

Avantajele folosirii coroanelor cu diamante. Față de coroanele cu aliaje dure, cele cu diamante realizează o viteză mecanică de 2—3 ori mai mare; uzura diamantelor într-un timp mai îndelungat mărește durata de lucru pe talpă, dând posibilitatea carotajului în marșuri lungi până la 6—8 m; asigură un recuperaj mult mai mare a carotelor; asigură o bună verticalitate a găurii de sondă, iar costul pe metru forat este mai mic ca urmare și faptului că după uzura coroanei diamantele rămase pot fi recuperate.

c. **Alezoare și lărgitoare cu diamante.** Deasupra coroanei sau sapei se intercalează, în forajul cu coroane cu diamante, un *manșon alezor* care are rolul de a aleza gaura de sondă corectînd-o și calibrînd-o. În felul acesta se protejează coroana de uzură la diametrul exterior.

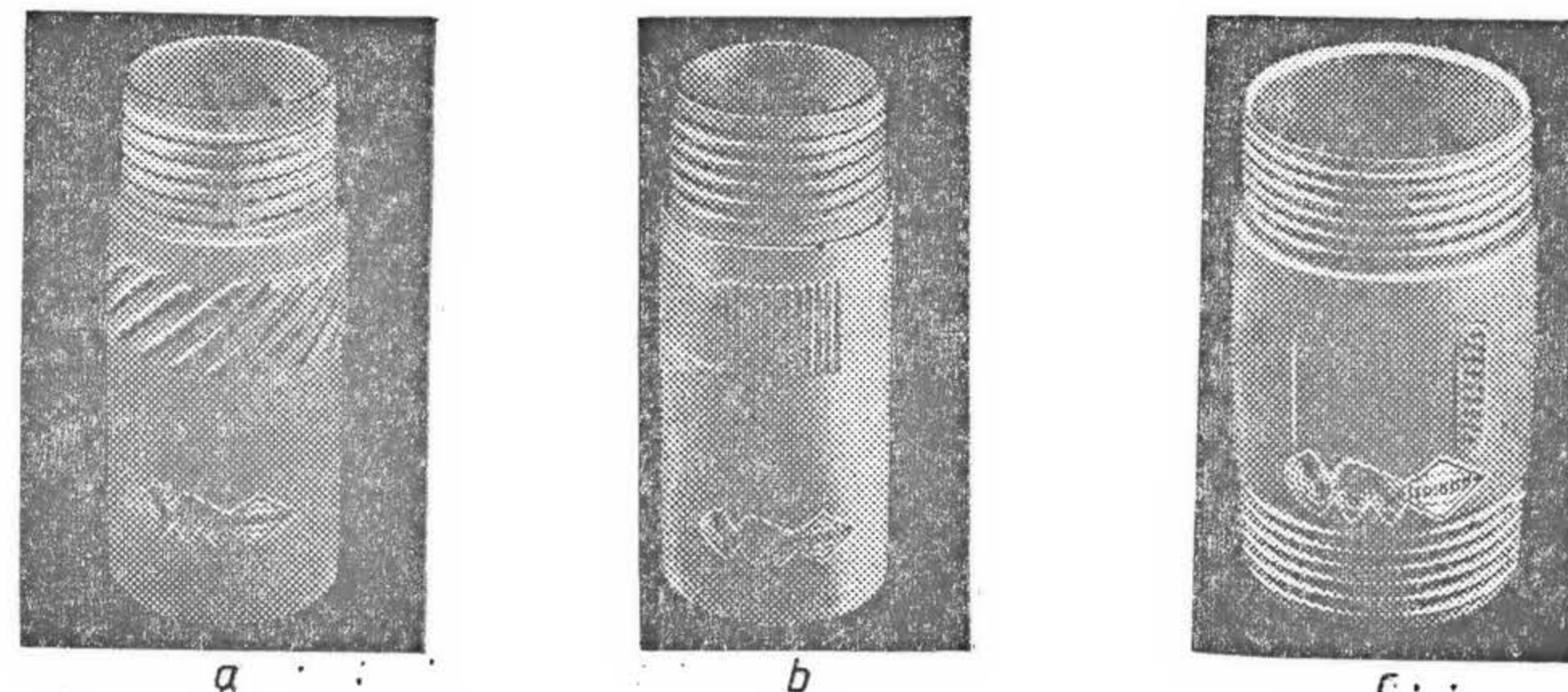


Fig. XI.76. Alezoare cu diamante:

a - alezor cu inele insertate pe nervuri spirale; b - alezor cu inele insertate pe nervuri verticale; c - alezor cu segmente.

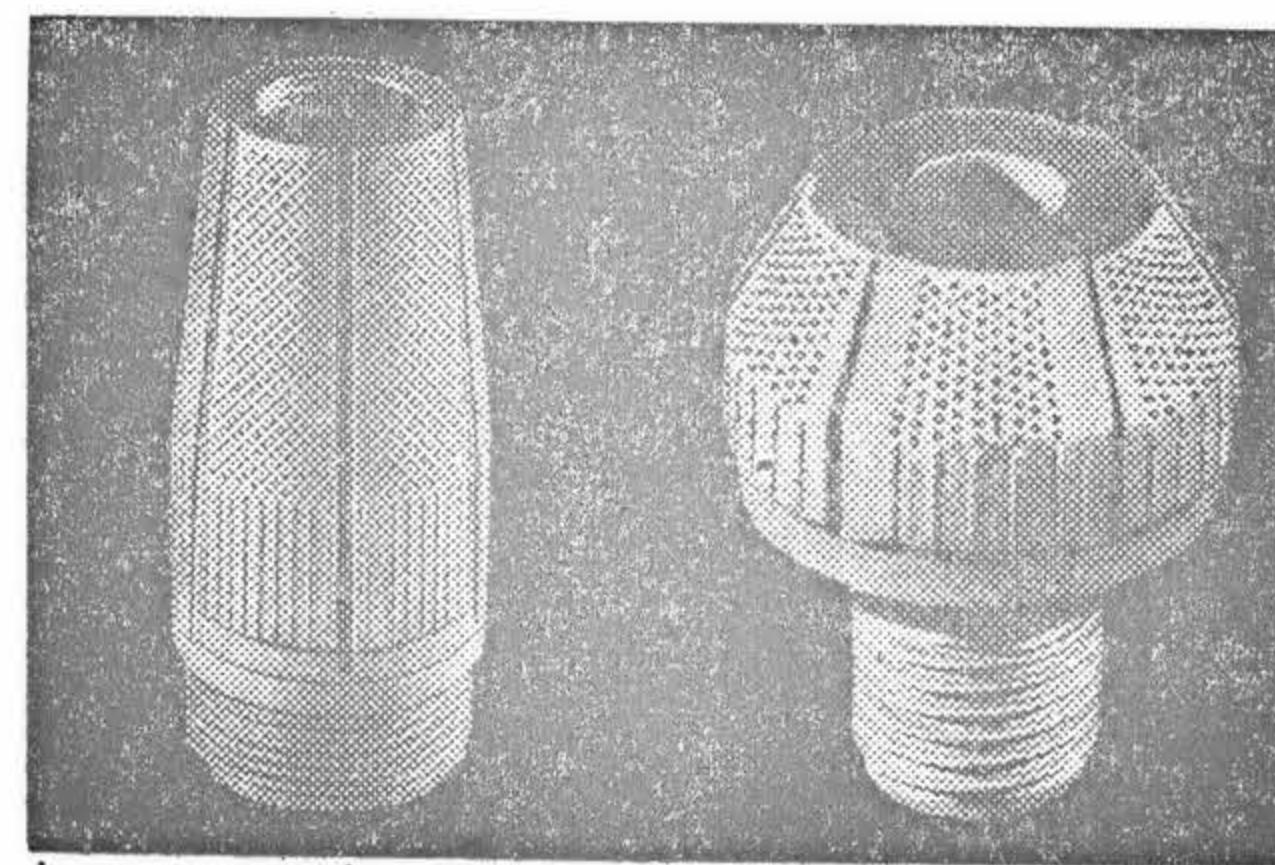


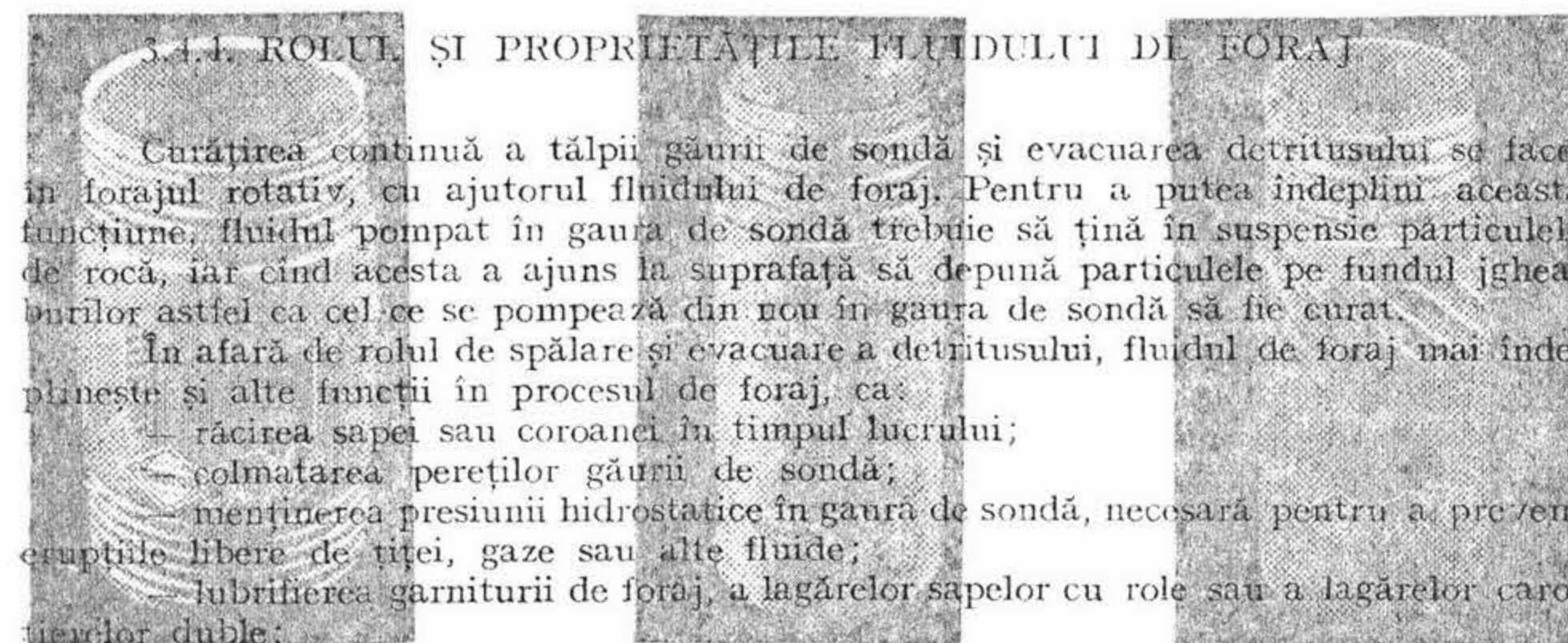
Fig. XI.77. Lărgitoare cu diamante.

Există mai multe tipuri constructive: *alezoare cu inele, cu segmente* etc. (fig. XI.76). Diametrul alezoarelor este dat în tabelele XI.9 și XI.15.

Lărgitoarele se utilizează în scopul lărgirii găurii de sondă, de la un diametru la altul. Ele pot fi conice, lungi, scurte etc. (fig. XI.77).

3.4. SPĂLAREA GĂURII DE SONDĂ CU FLUIDUL DE FORAJ

În timpul forajului, fluidul de foraj este pompat în gaura de sondă și evacuat din nou în gaura de sondă, astfel încât să se asigure o curățare continuă a găurii de sondă și o bună lubrifiere a pereților ei.



3.4.4. ROLUL ȘI PROPRIETĂȚILE FLUIDULUI DE FORAJ

Curățirea continuă a tălpii găurii de sondă și evacuarea detritusului se face, în forajul rotativ, cu ajutorul fluidului de foraj. Pentru a putea îndeplini această funcțiune, fluidul pompat în gaura de sondă trebuie să țină în suspensie particulele de rocă, iar când acesta a ajuns la suprafață să depună particulele pe fundul igheburilor astfel ca acestea să se pompeze din nou în gaura de sondă să fie curat.

În afară de rolul de spălare și evacuare a detritusului, fluidul de foraj mai îndeplinește și alte funcții în procesul de foraj, ca:

- răcirea sapei sau coroanei în timpul lucrului;
- colmatarea pereților găurii de sondă;
- menținerea presiunii hidrostatice în gaura de sondă, necesară pentru a preveni erupțiile libere de gaze sau alte fluide;
- lubrifierea garniturii de foraj, a lagărelor sabelor cu role sau a lagărelor carotierilor duble;

- înmuierea rocii în care se forează și ușurarea sfărâmării acesteia;
- reducerea frecării materialului tubular de pereții găurii de sondă.

În funcție de condițiile geologice, structura și textura rocilor traversate, prezența sau absența, presiunea și compoziția apelor traversate, condițiile de procurare a apei tehnologice, costurile substanțelor chimice și tehnologia de foraj adecvată pentru obținerea unui recuperaj și unei viteze de lucru maxime, se pot folosi următoarele fluide: apă; fluide pe bază de apă și produse sintetice (apă și poliacrilamidă, apă și biopolimeri etc.) sau naturale (bentonită de bună calitate); fluide (clasice) pe bază de apă și argilă; fluide negre (pe bază de produse petroliere — motorină și asfalt oxidat); aer; gaze; fluide spumate și aerate; apă aerată.

În timpul forajului elementele active ale unelei tăietoare se uzează, ca rezultat al încălzirii excesive cauzată de frecarea dintre rocă și unealta tăietoare. Pentru a înlătura încălzirea ca și pentru ungerea garniturii de foraj și a elementelor active ale unelei tăietoare este necesar să se stabilească debitul optim al fluidului de foraj, în funcție de forma și dimensiunile sculei tăietoare.

La ieșirea înspre suprafață prin spațiul inelar dintre peretele găurii de sondă și garnitura de foraj, noroiul colmatează pereții găurii de sondă, formând o crustă subțire impermeabilă și destul de rezistentă, care asigură o susținere a pereților găurii de sondă, împiedicând surparea acestora și pierderea noroiului în stratele a căror presiune este mai mică decât presiunea noroiului.

Pereții găurii de sondă, ca urmare a presiunii litostatice, precum și a presiunilor din stratele transversale, se surpă ușor și uneori provoacă prinderea garniturii de foraj.

Fluidul de foraj prin greutatea sa asigură contrapresiunea necesară pe pereții găurii de sondă, evitând în acest fel surparea pereților găurii de sondă și pericolul erupțiilor în cazul când în stratele traversate sunt înmagazinate fluide sub presiune.

În forajul de explorare, în mod obișnuit, se folosește ca fluid de foraj noroiul de foraj.

Prin componența sa, noroiul este un sistem compus dintr-un mediu dispersant continuu, constituit din apă și dintr-o fază dispersă discontinuă, formată din particule

solide dispersate în apă (suspensioizi) și particule coloidale (coloizi), reprezentând astfel un sistem eterogen polidispers, compus din minimum doi componenți: argila — fază dispersă și apă — mediul de dispersie.

În mod obișnuit noroiul rezultat din amestecul de argilă și apă conține particule solide mai mari, în stare de suspensie, numite *suspensioizi*, și particule foarte fine, numite *coloizi*. Acestea din urmă determină proprietățile de bază ale noroiului, ca: greutate specifică, viscozitate, tixotropie, stabilitate, salinitate și conținut de nisip.

Determinarea acestor proprietăți se poate face direct la șantier sau în laborator.

Greutatea specifică a noroiului depinde de raportul dintre cantitatea de argilă și cantitatea de apă conținută în acesta. Ea reprezintă greutatea unui decimetru cub de noroi și se notează cu γ . Determinarea exactă a greutății specifice se face în laborator cu ajutorul hidrometrului.

Pentru citirea directă a greutății specifice a noroiului se folosește *hidrometrul* (densimetrul). Un astfel de aparat constă dintr-un corp de sticlă, prevăzut la partea superioară cu o scară gradată, iar la cea inferioară cu un pahar cu capac. După umplerea paharului cu noroi se închide capacul și apoi se introduce aparatul într-un vas cu apă. Diviziunea până în dreptul căreia areometrul este cufundat în apă indică greutatea specifică a noroiului (fig. XI.78). Pe șantier, pentru determinarea greutății specifice a noroiului este folosit cântarul de noroi tip „Balanta” Sibiu (fig. XI.79). Se cântărește un cilindru de tablă de 1,5 l. umplut cu noroi, greutatea dată de cântar împărțită la numărul de litri de noroi dă greutatea specifică a noroiului. Un noroi obișnuit are o greutate specifică de 1,12 — 1,30 daN/dm^3 .

Valoarea presiunii exercitate de fluidul de foraj asupra pereților și a tălpii găurii de sondă, datorită greutății sale specifice, se determină cu relația:

$$P = \gamma \cdot H \quad [\text{daN/cm}^2]$$

în care: H este înălțimea coloanei de fluid, m;

γ — greutatea specifică a fluidului, daN/dm^3 .

Pentru creșterea greutății specifice a noroiului, creștere impusă de anumite condiții de foraj, se adaugă materiale de îngreunare, ca de exemplu baritină (BaSO_4) a cărei greutate specifică este de 4,2 daN/dm^3 .

Mărirea greutății specifice este necesară când presiunea exercitată de noroiul de foraj este insuficientă pentru a echilibra presiunea formațiunilor traversate sau când trebuie mărită presiunea asupra pereților găurii de sondă pentru a împiedica surparea lor. Cantitatea de baritină sau de alt material de îngreunare se poate calcula cu relația:

$$G = V \cdot \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_3 - \gamma_2}$$

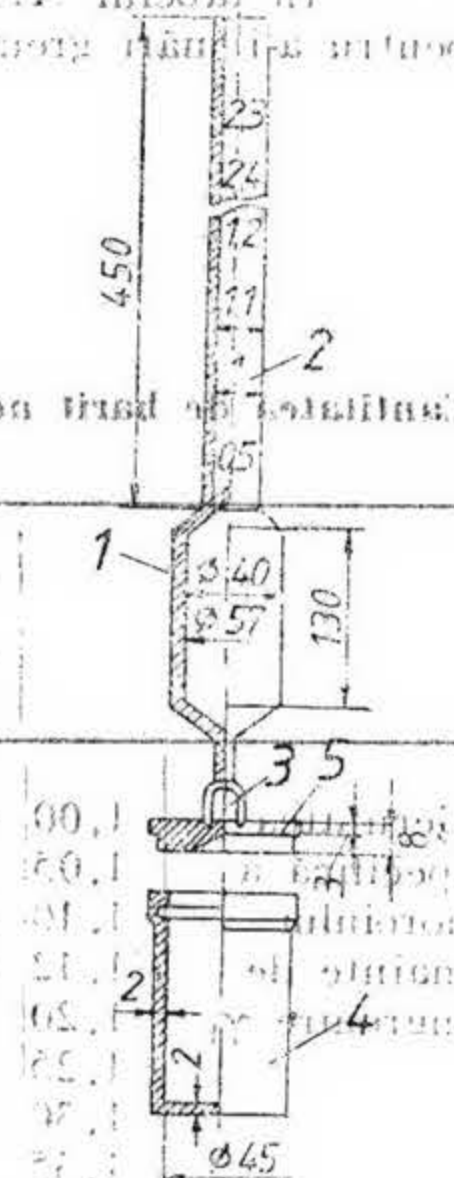


Fig. XI.78. Densimetru pentru noroi și ciment:

1 — corp cilindric; 2 — tijă gradată goală la interior; 3 — cîrlig; 4 — recipient de aluminiu; 5 — capacul recipientului de aluminiu.

Cu ajutorul acestor viscozimetre se determină viscozitatea noroiului, folosind metoda scurgerii sub presiune a fluidului printr-o țevă capilară care asigură o curgere laminară a acestuia.

Pentru calcularea indicelui de viscozitate se face în prealabil etalonarea aparatului cu apă distilată la $+20^{\circ}\text{C}$.

Tixotropia. Este proprietatea noroiului de a se transforma în gel când este în repaus și din gel în fluid atunci când este pus din nou în mișcare.

Datorită acestei proprietăți particulele de rocă sînt împiedicate să se depună atunci când din diferite cauze se întrerupe circulația, iar când noroiul a ajuns la suprafață nu eliberează particulele de detritus.

Tensiunea statică a deplasării, adică mărimea eforturilor de deplasare care provoacă mișcarea noroiului din stare de repaus, arată gradul de densitate al structurii formate.

Pentru determinarea ei se folosește aparatul SNS-2 sau viscozimetrul de tipul *Mac Michel*.

Stabilitatea. Este proprietatea datorită căreia noroiul nu separă apa pe care o conține. Datorită acestei proprietăți noroiul își păstrează densitatea aproape constantă pe întreaga înălțime a găurii de sondă. Stabilitatea noroiului are mare importanță în procesul de foraj. Un noroi lipsit de stabilitate eliberează apa în timpul circulației și aceasta pătrunde în stratele traversate, producînd surparea pereților găurii de sondă.

Filtrația. Prin filtrație se înțelege fenomenul de cedare a unei părți din apa de constituție a fluidului de foraj prin pereții poroși ai găurii de sondă, sub influența diferenței dintre presiunea fluidului de foraj și presiunea fluidului din strat. Ca urmare a procesului de filtrare a apei libere din fluidul de foraj, pe pereții găurii de sondă se depune o crustă.

Determinarea filtrării noroiului se face măsurînd apa liberă separată de noroi sau filtrația acestuia.

Filtrația se determină în laborator cu următoarele aparate:

— cu filtru de noroi de joasă presiune la presiunea de 7 at și la temperatura mediului ambiant (fig. XI.81);

— cu aparatul VM-6 la presiunea de 1 at și la temperatura mediului ambiant (fig. XI.82).

Un noroi de foraj corespunzător are filtratul de $8-12\text{ cm}^3$ în timp de 30 min și crusta (turta) de 1-2 mm.

Salinitatea. Conținutul în sare a noroiului, exprimat în procente, se numește salinitate.

La începutul forajului, noroiul are un conținut mic de sare, însă acesta poate crește brusc, în special atunci când se întîlnesc strate de apă sărată. Măsurarea salinității noroiului poate da indicații asupra adîncimii la care au fost întîlnite stratele respective, caracterului rocilor traversate și conținutului de cloruri și ioni de calciu, care influențează caracteristicile fluidului de foraj.

Conținutul de nisip. Determinarea conținutului procentual de nisip se face cu ajutorul unei fiole gradate, în care se toarnă 50 cm^3 de noroi, peste care se toarnă apă pînă la nivelul gradației de 500 cm^3 și se agită puternic. După trecerea unui minut se determină în partea de jos a fiolei, în centimetri cubi, cantitatea de nisip ce s-a sedimentat.

Determinarea conținutului de nisip se face de obicei prin următoarele metode: prin elutriere, prin cernere și elutriere, prin cernere și spălare pe sită.

Cunoașterea conținutului de nisip în noroiul de foraj este importantă întrucît o cantitate de nisip mai mare de 1% are o acțiune abrazivă puternică asupra instalației de foraj.

Indicele pH (potențialul de hidrogen). Este un parametru care dă informații asupra caracterului acid sau bazic al fluidului de foraj. El indică concentrația momen-

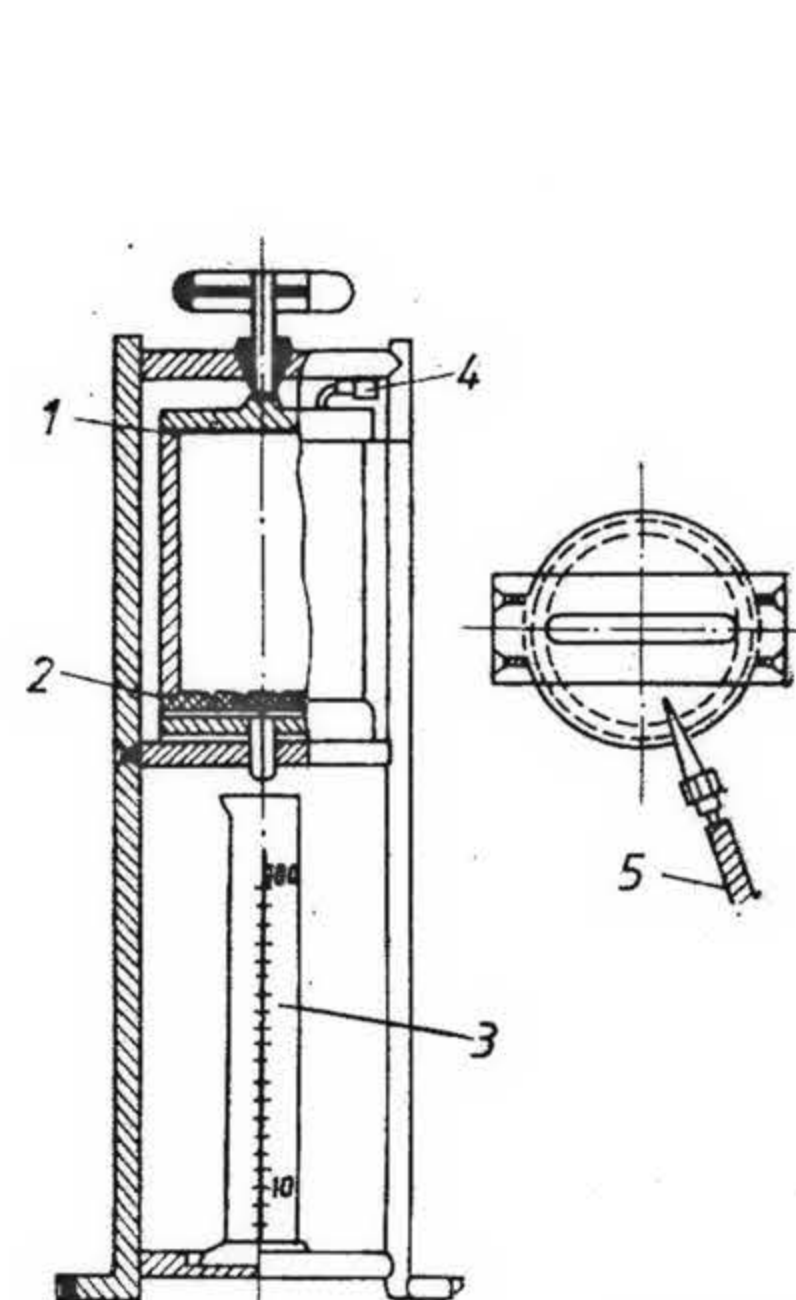


Fig. XI.81. Filtru de noroi de joasă presiune:

1 — garnitură; 2 — hirtie filtru; 3 — cilindru gradat; 4 — legătură cu butelia de aer comprimat; 5 — furtun de aer comprimat.

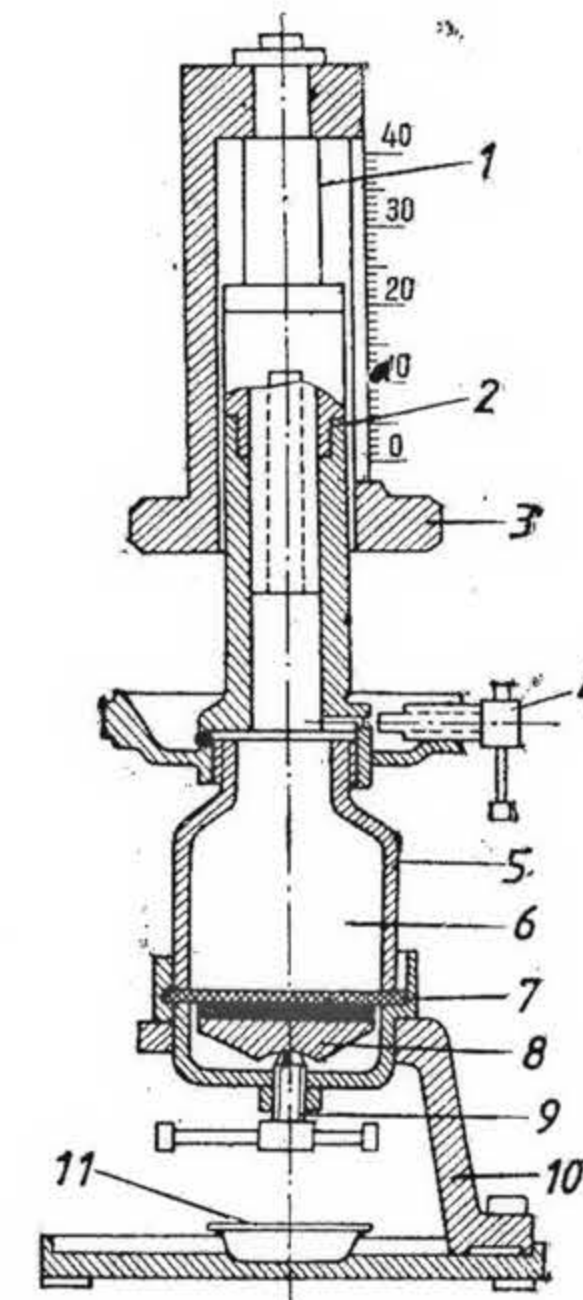


Fig. XI.82. Aparat de filtrație VM-6:

1 — piston; 2 — cilindru; 3 — scară gradată; 4 — robinet cu ac; 5 — celulă de filtrație; 6 — fluid de foraj; 7 — sită; 8 — supapă; 9 — șurub; 10 — suport metalic; 11 — vas de colectare.

tană în ioni liberi de hidrogen a soluției respective. O soluție este considerată acidă când are $\text{pH-ul} < 7$ și bazică când are pH-ul cuprins între 7 și 14. pH-ul se măsoară în laborator prin metode clorometrice sau electrometrice. Noroiul de foraj trebuie să aibă pH-ul mai mare de 7.

Factorii care influențează proprietățile fluidului de foraj. În timpul forajului fluidul de foraj (noroiul de foraj) își modifică caracteristicile inițiale datorită pe de o parte detritusului pe care îl transportă la suprafață și care prin fărîmîtare se dispersează în masa fluidului într-o oarecare măsură, iar pe de altă parte datorită naturii și caracteristicilor formațiunilor traversate și a temperaturii ridicate din gaura de sondă.

Efecte de contaminare a fluidului de foraj au argila, sarea, gipsul, gazele și conținutul ridicat de nisip.

Creșterea conținutului de argilă determină creșterea viscozității și tixotropiei noroiului, făcându-l greu pompabil și măbind pericolul de prindere a garniturii de foraj.

La traversarea formațiunilor cu intercalații de gips sau anhidrit, creșterea conținutului de Ca produce, de asemenea, creșterea viscozității și a tixotropiei.

Sarea are, de asemenea, drept consecință modificarea viscozității, tixotropiei și a filtrației.

La traversarea formațiunilor nisipoase sau marnelor nisipoase conținutul în nisip crește măbind abrazivitatea noroiului și permeabilitatea crustei de pe pereții găurii de sondă.

În cazul când greutatea specifică a noroiului de foraj este mai mică decât presiunea stratului, gazele pătrund în masa noroiului, măbind volumul acestuia și micșorându-i greutatea specifică.

3.4.2. PREPARAREA NOROIULUI DE FORAJ

Noroiul se prepară din amestecul argilei sau marnei cu apă în diferite proporții, sau cu amulsie de produse petroliere.

Amestecarea se face manual sau mecanic, cu ajutorul malaxoarelor de noroi sau în pînii identice cu cele folosite la prepararea laptelui de ciment.

Condiția ce se cere argilei sau marnei folosite este să fie plastică și curată, să nu conțină pietriș, nisip sau materii organice.

Pentru condițiile normale de lucru, noroiul se consideră satisfăcător când îndeplinește următoarele caracteristici:

- viscozitatea cuprinsă între 2 și 4 cP;
- filtrația în limitele 8–12 cm³/24 ore;
- decantarea în 24 de ore să nu fie mai mare de 5%;
- conținutul de nisip să nu fie mai mare de 2–3%.

Greutatea specifică nu constituie o proprietate determinantă a noroaielor. Noroaiile pot avea aceeași greutate specifică, dar pot fi complet diferite în privința proprietăților lor.

Caracteristicile medii pentru un fluid bun de foraj sint date în tabelul XI.18.

În timpul forajului pot avea loc pierderi de circulație datorită porozității prea mari a rocilor străbătute, fisurilor, geodelor, golurilor subterane etc.

Pentru prevenirea pierderii de noroi se mărește viscozitatea noroiului prin adăugare de var, sticlă lichidă sau ciment.

În cazul pierderilor intense de noroi se întrebuițează *gelcimentul* — o soluție de ciment cu marnă foarte coloidală, adăugându-se 1 parte marnă la 100 părți ciment.

Pentru prevenirea dărimării pereților găurii de sondă se stabilește un anumit regim de foraj care să asigure o viteză maximă de avansare și să înlăture pe cât posibil opririle neproductive, iar noroiul de foraj folosit să asigure tot timpul o presiune hidrostatică cu puțin mai mare decât presiunea stratelor străbătute. Este indicat să se folosească un noroi cu o viscozitate de 25–30 s, iar filtrația să fie în jurul a 100 cm³/24 ore.

Pentru îmbunătățirea calității și reglarea proprietăților lor în anumite limite, noroaiile se tratează cu diverși reactivi chimici. Astfel, un reactiv eficient pentru scăderea viscozității și filtrației noroiului este cel combinat din lignit, extras de sulfite celuloză și sodă caustică.

Tabelul XI.18
Caracteristicile medii pentru fluidul de foraj

Caracteristici	Fluide pe bază de masă					
	Cu apă și argile	Cu emulsie de produse	Cu amidon	Cu baza de silicat de sodiu	Cu baza de var	Fluide negre
Greutatea specifică, daN/cm ³	1,15–1,20	1,10	1,15–1,20	1,45	1,15–1,20	0,90–0,95
Viscozitatea, s	30–35	54–55	80	mare	35–40	60
Filtrația, cm ³	sub 12	10	5	12	5	maximă
Turta, mm	3	2	1	2	1	urme
pH	8–9	9–10	sub 11	13	12	—

Influența greutății specifice și a viscozității noroiului. Apa satisface curățirea tălpii găurii de sondă, evacuarea detritusului și răcirea sapei numai în rocile compacte nefisurate (marmure, unele calcare, bazalte etc.), unde rezultă un detritus fin. Ea nu poate însă menține în suspensie particulele de detritus mai puțin fine în timpul opririi circulației, din care cauză are loc depunerea acestora și prinderea garniturii, și nu se realizează colmatarea pereților. Datorită acestor neajunsuri, în majoritatea cazurilor apa a fost înlocuită cu noroi care, prin greutatea specifică și prin viscozitatea sa deosebite de ale apei, satisface cerințele ce se ivesc în procesul de foraj.

Folosirea unui noroi cu o greutate specifică și viscozitate prea mari au un efect, dăunător asupra vitezei mecanice de foraj, se gazeifică ușor, se pompează greu și are tendința de a se lipi de prăjinile de foraj.

Pentru preîntâmpinarea acestor neajunsuri, practica a dovedit că este indicat să se folosească noroi cu o greutate specifică și viscozitate mică.

Influența circulației asupra vitezei de foraj. O circulație necorespunzătoare a noroiului de foraj influențează viteza de foraj în sensul că roca neevacuată în totalitatea ei opune o rezistență suplimentară sapei, datorită căreia viteza mecanică de foraj scade.

Pe baza rezultatelor de teren s-a putut stabili o relație între debitul de noroi și viteza mecanică de foraj.

Relația este dată de formula:

$$v_m = \frac{Q}{a + b \cdot Q}$$

în care: v_m este viteza mecanică de foraj; Q — debitul de noroi; a și b sînt constante ce depind de proprietățile rocilor forate, debitul noroiului și dimensiunile spațiului inelar.

Tot pe bază de experiență s-a stabilit că la viteze mici ale curentului ascendent ($v = 0,45-0,50$ m/s), viteza mecanică de foraj crește proporțional cu Q , deci $v_m = f(Q)$.

Această relație este însă valabilă numai atunci cînd viteza curentului ascendent este de 0,5 m/s. S-a constatat că dacă Q este suficient pentru spălarea tălpii, mărirea lui în continuare influențează foarte puțin viteza mecanică v_m .

În afară de debitul de noroi, viteza mecanică de foraj, v_m , mai este influențată în mare măsură și de viteza noroiului de spălare prin orificiile sapei.

Experiențele arată că debitul Q accelerează mult forajul numai în cazul cînd orificiile de spălare sînt aproape de talpă, deoarece atunci jetul de noroi poate să atingă cu putere talpa găurii de sondă și să acționeze activ asupra ei. Pentru o spălare perfectă a tălpii găurii de sondă, jetul trebuie să exercite o presiune de 5–6 daN/cm².

În concluzie, viteza mecanică de foraj depinde foarte mult de gradul de spălare a tălpii de rocă forată. Spălarea intensă a tălpii se obține prin apropierea la maximum a orificiilor de spălare la talpă.

Substanțe folosite pentru corectarea proprietăților noroiului de foraj. Se folosesc:

Substanțe pentru îngreunare: baritina (BaSO_4) sub denumirea tehnică de *barită* este folosită în exclusivitate pe șantierul din România.

Substanțe reducătoare de viscozitate și de filtrare:

— *reactivul de lignit sau humatul de sodiu* — soluție coloidală obținută dintr-un amestec de lignit măcinat și o soluție de sodă caustică;

— *rășini sintetice solubile* — preparate din acizi crezosulfonici sau fenosulfonici și aldehydă formică;

— *coloizi organici:* amidonul, nitratul de carbon din grupa polizaharidelor și carboximetilceluloza (CMC).

Substanțe rezistente la temperaturi înalte:

— lignosulfonatul de fier și crom sau ferocromlignosulfonatul (FCLS);

— lignosulfonatul de crom sau cromlignosulfonatul (CLS);

— humatul de crom (cromlignitul);

— poliacrilamida.

Substanțe alcaline și alcalino-pămîntoase:

— soda calcinată (Na_2CO_3) — se folosește la combaterea contaminării noroiului de foraj cu calciu și pentru ridicarea pH-ului;

— bicarbonatul de sodiu (NaHCO_3) — se folosește la combaterea contaminării noroiului cu ciment;

— soda caustică (NaOH);

— varul.

3.4.3. CURĂȚIREA NOROIULUI DE FORAJ, STABILIREA DEBITULUI ȘI PRESIUNII DE CIRCULAȚIE

Curățirea noroiului se face prin depunerea detritusului în sistemul exterior de circulație format din jgheaburi, batalele de decantare și de tragere.

O mai bună curățire se realizează cu ajutorul hidrociclonului, care se intercalează în sistemul de circulație a fluidului de foraj.

Debitul de circulație. La determinarea debitului de circulație trebuie să se cunoască programul de construcție al găurii de sondă, componența garniturii de foraj și viteza ascensională a noroiului. Pe bază de experiență de șantier, viteza ascensională se ia de 0,3–0,6 m/s. Ea trebuie să crească odată cu creșterea cantității de detritus ce se află în curentul ascensional, ca urmare a creșterii vitezei mecanice.

Pentru calculul debitului de noroi se folosește relația:

$$Q_n = F \cdot V_a = \frac{3,14}{4} (D^2 - d^2) \cdot V_a = 0,785 V_a (D^2 - d^2) \quad [\text{l/min}]$$

în care: F este secțiunea spațiului inelar, dm²;

V_a — viteza ascensională, dm/min;

D — diametrul găurii de sondă, dm;

d — diametrul exterior al prăjinilor de foraj, dm.

Presiunea de circulație. Noroiul este pompat în gaura de sondă cu o anumită presiune.

Căderile de presiune mai importante ce se produc în gaura de sondă sînt: căderi de presiune în carotieră sau sapă, în garnitura de foraj, în spațiul inelar și căderea de presiune ca urmare a diferenței între greutatea specifică ale noroiului în curent ascendent și descendent.

Aceste căderi nu trebuie să depășească presiunea pentru care este construită pompa de noroi. Puterea de acționare a pompei se calculează la presiunea maximă, cu relația:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{75 \eta} \text{ [CP]}$$

în care: Q este debitul pompei, m^3/s ;

H — presiunea, $\text{m H}_2\text{O}$;

η — randamentul pompei, $0,8-0,9$;

γ — greutatea specifică a fluidului de foraj, daN/dm^3 .

Volumul batalelor. Volumul batalului de decantare este de circa 1 m^3 , iar volumul batalului de tragere se determină cu relația:

$$V = C \cdot V_s \text{ [m}^3\text{]}$$

în care: V_s este volumul găurii de sondă la adâncimea finală, m^3 ;

C — coeficient ce depinde de roca traversată și care are valori de $1,5-2$.

Lungimea jgheabului. Se determină cu relația:

$$L = \frac{W}{b \cdot k} \text{ [m]}$$

în care: W este cantitatea volumetrică a particulelor de detritus depuse pe jgheab, m^3/min ;

k — coeficientul capacității de curățire, egal cu $0,0003 \text{ m}/\text{min}$;

b — lățimea jgheabului, m .

În practică lățimea se ia de 20 cm , înălțimea de 15 cm , iar lungimea între $1,5-2 \text{ m}$.

Volumul batalelor trebuie să fie de două ori mai mare decât volumul găurii de sondă corespunzătoare adâncimii finale, iar lungimea jgheaburilor de circa 15 m .

3.5. OPERAȚII DE MANEVRĂ ȘI MATERIAL TUBULAR

Operațiile de manevră constau în introducerea și extragerea garniturii de foraj pentru înlocuirea sapei sau coroanei de foraj precum și pentru extragerea caratelor și prelungirea garniturii de foraj cu noi prăjini, pe măsura avansării forajului.

Materialul tubular folosit în tehnica forajului constă din prăjini de foraj și burlane, cu elementele de legătură respective.

3.5.1. PRĂJINI DE FORAJ

Transmiterea energiei necesară săpării de la agregatele de forță la uncalta tăietoare (sapă sau coroană) se face prin intermediul garniturii de foraj.

În tehnica forajului, ansamblul format din prăjina de antrenare, prăjinile de foraj, prăjinile grele, reducțiile, niplurile, răcordurile și sapa sau carotiera formează garnitura de foraj.

Prăjina de antrenare. Face legătura între capul hidraulic și prăjinile de foraj și asigură transmiterea mișcării de rotație de la capul de rotire al agregatului de foraj sau de la masa totală (în cazul forajului cu masa rotativă) la garnitura de prăjini.

După secțiunea părții de antrenare, prăjinile de antrenare (fig. XI.83) se fabrică din țevi laminate, în patru forme: cu partea de antrenare hexagonală, pătrată, triunghiulară și circulară.

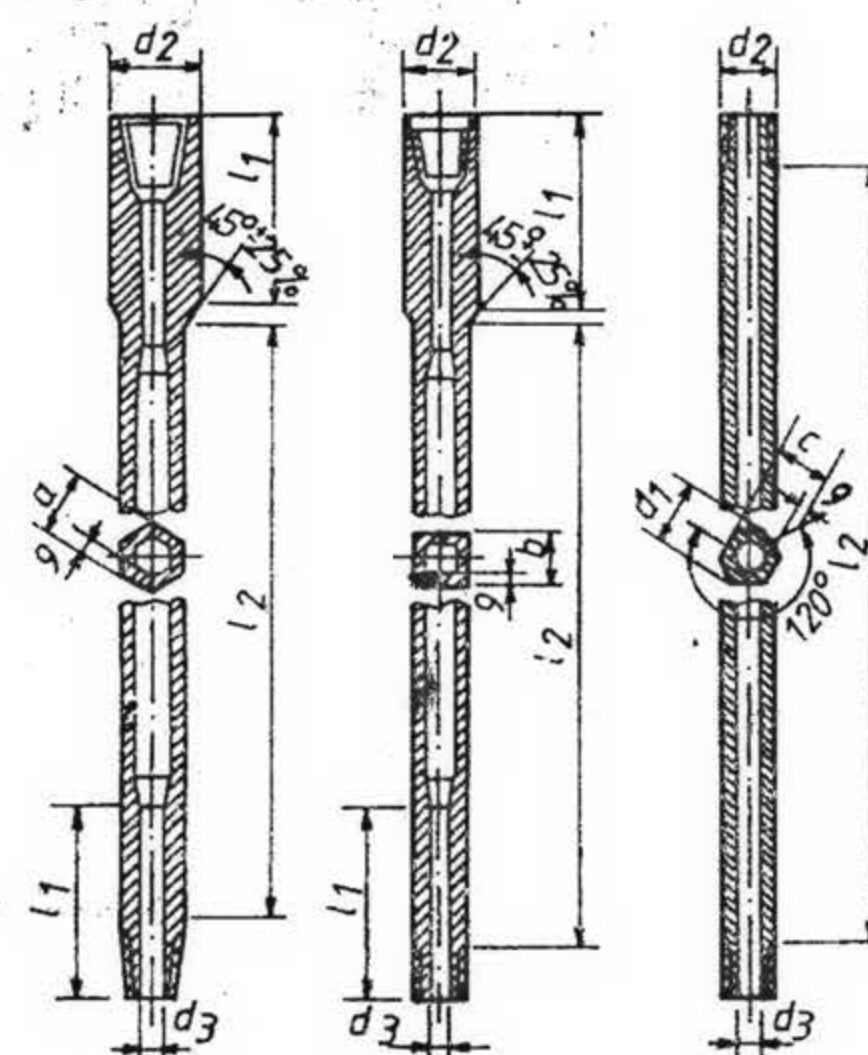


Fig. XI.83. Prăjini de antrenare din țevi laminate.

Lungimea prăjinii de antrenare este cu $1-2 \text{ m}$ mai lungă decât a prăjinilor obișnuite de foraj.

În tabelul XI.19 se dau dimensiunile, în mm , a prăjinii de antrenare SzHT cep-cep 47, conform STAS 2606-80.

Tabelul XI.19

Prăjină de antrenare Sz HT cep-cep 47 STAS 2606-80

Forma prăjinilor	Dimensiunea nominală a prăjinii de antrenare	a $\pm 1\%$	d_2 $\pm 1,5$	d_3 $\pm 1,0$	g $+25\%$	l_1 min.	l_2 ± 100	r^*	Filete	
									La partea superioară	La partea inferioară
HT	47	4	64	22	10	220	5200	$\pm 4 \dots 60$	Mufă R 50 st STAS5291-56	Cep

* r este raza de rotunjire a vîrfurilor secțiunilor hexagonală și pătrată.

Prăjinile de foraj propriu-zise. Se caracterizează prin diametrul exterior uniform, condiție necesară pentru ca acestea să poată trece prin dispozitivul de rotire al sondezei. Ele se fabrică în două tipuri:

— prăjini de foraj cu nipluri de legătură (fig. XI.84);

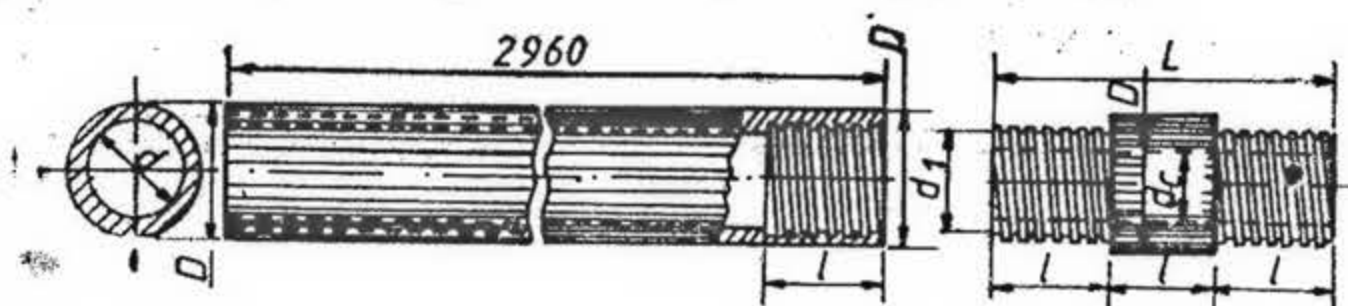


Fig. IX.84. Prăjini cu niplu pentru forajul cu sondeze.

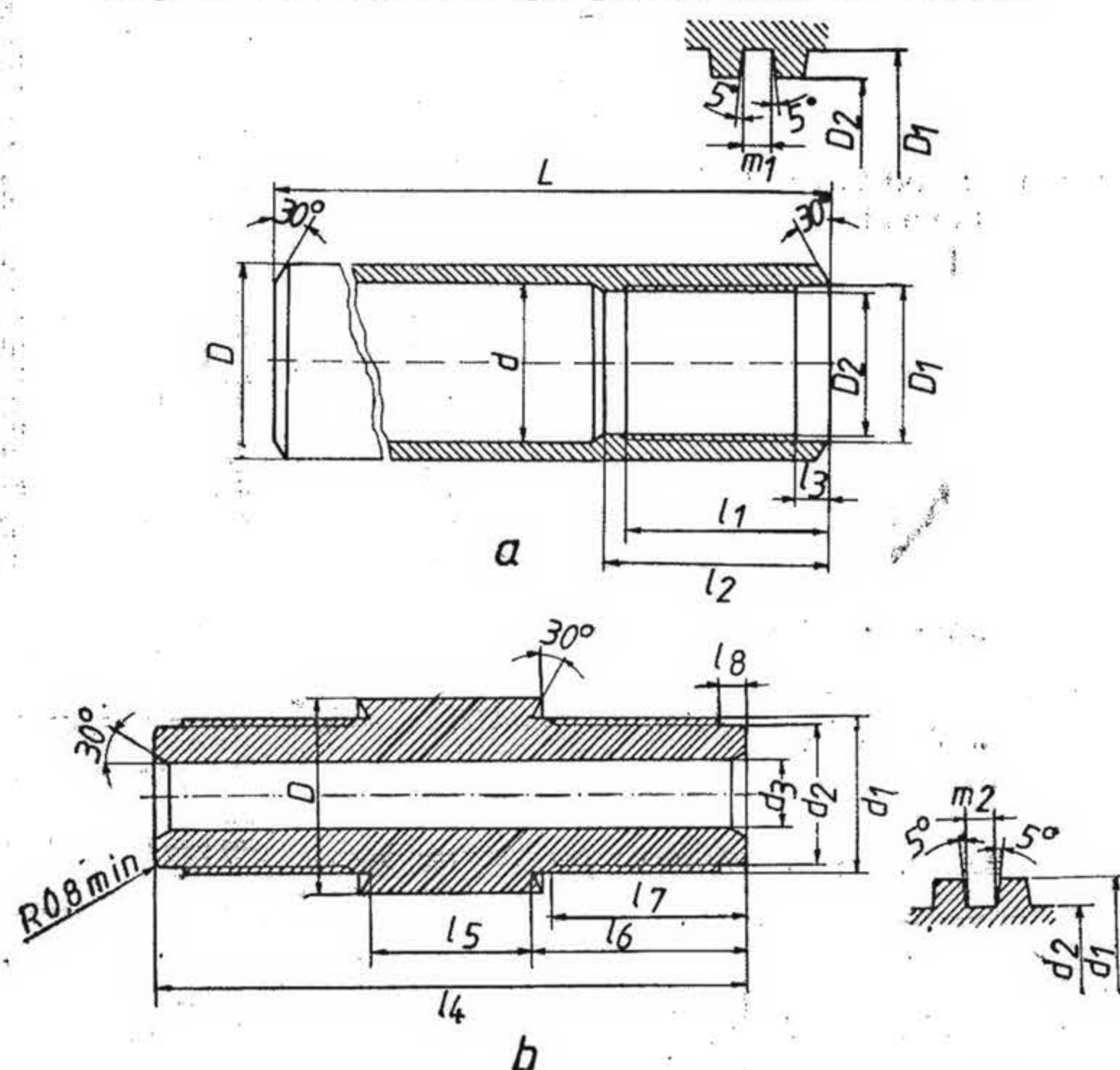


Fig. XI.85. Prăjină de foraj (a) și niplu de legătură (b) pentru sondeze (STAS din 1968/80).

— prăjini de foraj cu racorduri speciale sau cu mufe de legătură normale și prin mufă și cep din corpul prăjinii.

Prăjinile de foraj cu nipluri sînt din seria W și au prevăzute la ambele capete mufe, asamblarea lor făcîndu-se cu ajutorul niplurilor. Niplurile sînt prevăzute la capete cu filet dreptunghiular cu patru spire pe țol, iar la mijloc cu două porțiuni dreptunghiulare (tăieturi) ce servesc ca locaș pentru cheile folosite la înșurubare și deșurubare (fig. XI.85).

Dimensiunile prăjinilor și niplurilor, conform STAS 1968—80, sînt prezentate în tabelele XI.20 și XI.21.

Niplurile de legătură sînt de tip A — cep-cep și de tip B — mufă-cep. În practică se recomandă folosirea combinată a niplurilor tip A și B, pentru a preveni uzura prematură a filetului de la mufa prăjinii, datorită înșurubărilor repetate în timpul operațiilor de introducere și extragere a garniturii de foraj.

Tabelul XI.20

Dimensiunile prăjinilor de foraj cu mufă la ambele capete, pentru sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul					
		RW	EW	AW	BW	NW	HW
		Diametrul nominal					
		28	35	44	54	67	89
D	max. min.	27,89 27,76	35,05 34,92	43,89 43,64	54,23 53,98	66,93 66,68	89,28 88,90
d	max.	18,26	25,40	34,14	44,45	57,15	77,77
D_2	max. min.	18,95 18,90	23,95 23,90	31,88 31,83	38,94 38,89	51,71 51,66	72,24 72,19
D_1	max. min.	21,67 21,62	27,13 27,07	35,05 35,00	42,93 42,88	56,49 56,44	77,06 77,01
L	max. min.	3020 3019	3015 3014	3017 3016	3004 3003	3004 3002	2991 2990
l_1	min.	36,50	39,67	47,62	57,15	69,85	82,55
l_2	min.	39,67	44,45	54,00	63,50	76,20	90,47
l_3	max. min.	6,60 6,10	8,18 7,67	9,80 9,27	9,80 9,27	9,80 9,27	9,80 9,27
m_1	max. min.	3,18 3,10	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11
pași pe 25,4 mm		4	3	3	3	3	3

Prăjinile de foraj cu racorduri speciale sau cu mufe sînt utilizate la forajul în carotaj mecanic continuu. Frecvent sînt folosite prăjinile cu diametrul de 50 mm, 60,3 mm și 73 mm (tabelul XI.22).

Ele se execută cu capetele îngroșate îmbinate prin racorduri speciale și la mufele prăjinilor (fig. XI.86).

Racordurile speciale (fig. XI.87) se compun din două piese:
— o mufă specială care are la un capăt un filet normal interior pentru îmbinarea cu prăjina, iar la celălalt capăt un filet special interior pentru îmbinarea cu cepul special;

— un cep special prevăzut la un capăt cu filet normal interior pentru îmbinarea cu prăjina, iar la celălalt capăt un filet special exterior pentru îmbinarea cu mufa specială.

Dimensiunile racordurilor speciale sînt date în tabelul XI.23.

Tabelul XI.21

Nipluri de legătură pentru prăjini de foraj tip W pentru sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul					
		RW	EW	AW	BW	NW	HW
		Diametrul nominal					
		28	35	44	54	67	89
D	max. min.	27,89 27,76	35,05 34,92	43,89 43,64	54,23 53,98	66,93 66,68	89,28 88,90
d_1	max. min.	21,56 21,51	26,97 26,92	34,90 34,85	42,77 42,72	56,34 56,29	76,91 76,86
d_2	max. min.	18,85 18,72	23,80 23,67	31,72 31,60	38,79 38,66	51,56 51,44	72,09 71,96
d_3	max. min.	10,57 10,19	11,35 10,97	16,13 15,75	19,30 18,92	35,18 34,80	60,71 60,32
l_4	informa- tiv	95,2	117,5	133,4	165,1	190,5	225,5
l_5	max. min.	28,45 27,94	33,78 33,27	32,89 32,38	44,58 44,07	45,08 44,58	57,40 56,90
l_6	max. min.	33,78 33,27	42,21 41,71	50,65 50,14	60,63 60,12	73,08 72,57	84,43 83,92
l_7	min.	28,58	36,50	44,45	53,98	66,68	79,38
l_8	max. min.	1,83 1,32	5,00 4,50	6,60 6,10	8,18 7,67	9,80 9,27	9,80 9,27
m_2	max. min.	3,18 3,10	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11
pași pe 25,4 mm		4	3	3	3	3	3

Tabelul XI.22

Caracteristicile prăjinilor de foraj utilizate la instalațiile de mică adâncime (sondeze)

Dimensiunea nominală [mm]	Diametrul		Lungimea unei bucăți [mm]	Masa pe metru [kg/m]	Secțiunea [cm ²]	Volum interior pe metru [dm]	Forța de tracțiune la $\sigma = 3000$ [daN/cm ²]
	Exterior [mm]	Interior [mm]					
73	73,0	59,0	5,5... 7,2 8,2... 9,2 11,6... 13,7	12,85 16,47	14,5 18,43	2,7 2,2	43 500 55 290
		31,8	431	20	—	—	—
60,3	60,3	46,1	5,5... 7,2 8,2... 9,2 11,6... 13,7	10,71	11,86	1,6	35 580
		25,4	3; 4,5; 6	7,75	8,63	1,09	25 890
50	50,0 64,0	37,5 27,0	1,5; 3; 4,5	7,0	7,85	1,1	23 550
50	50,0 52,0	39,0 22,0	1,5; 3; 4,5	5,2	5,82	0,78	17 460
42	42,0 44,0	32,0 16,0	1,5; 3; 4,5	3,4	4,29	0,44	12 870
33,5	33,5 34,0	24,0 14,0	1,5; 3; 4,5				

Între prăjinile folosite în forajul cu sondeze figurează și cele și pentru carotiera introductibilă (fig. XI.88), care au diametrul interior mai mare și sînt netede (nu au ramforsări în interior și exterior), pentru a asigura manevrarea cu ușurință a tubului carotier. Ele fac parte din seria Q și sînt îmbinate prin mufă și cep din corpul prăjinii, prin filet conic cu profil trapezoidal. În tabelul XI.24 sînt prezentate dimensiunile prăjinilor din seria Q fabricate de firma suedeză Longyear și utilizate în țara noastră.

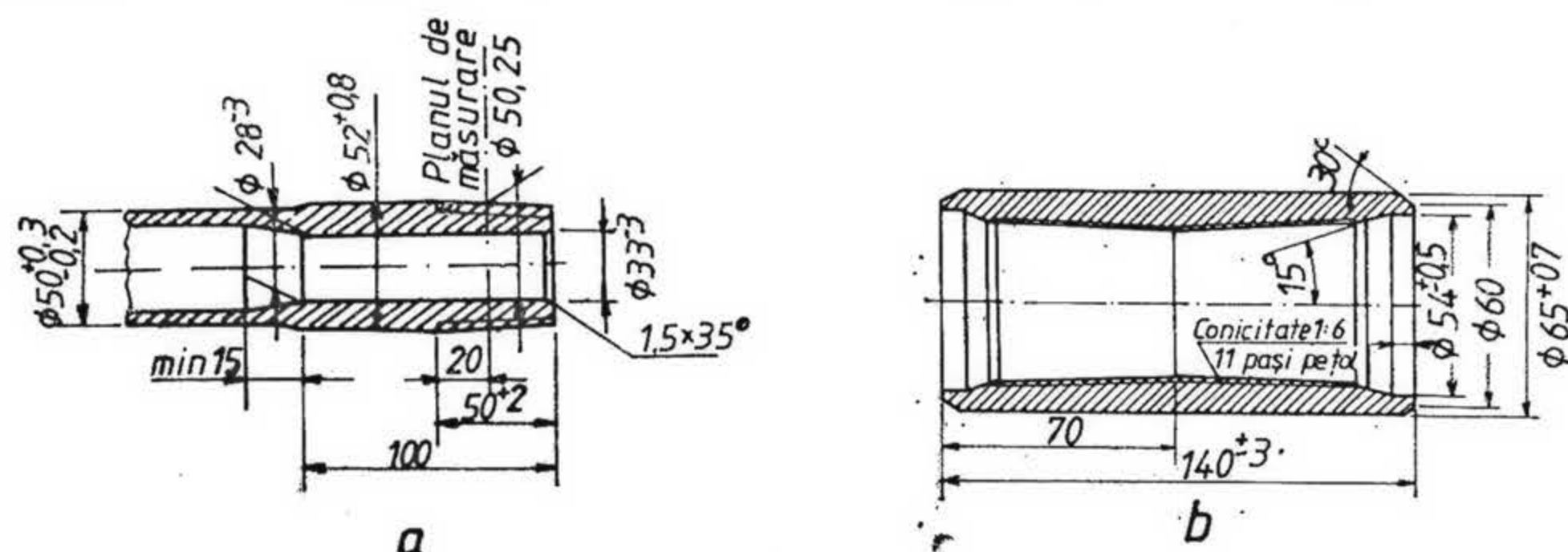


Fig. XI. 86. Prăjină de foraj pentru sondeze Ø 50 mm (a) și mufa ei (b).

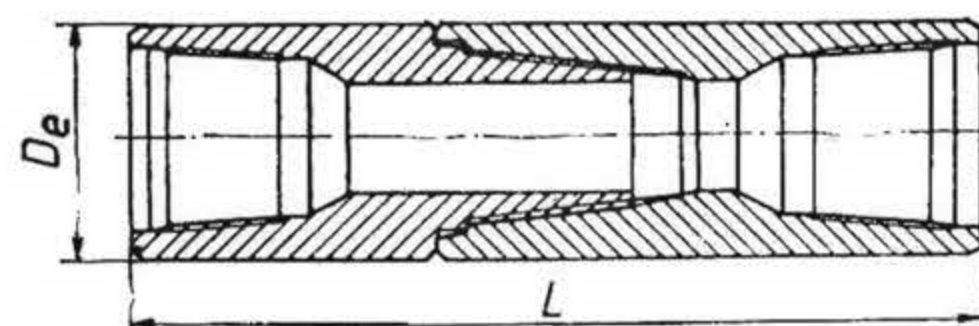


Fig. XI.87. Racord special (STAS 325—80)

Dimensiunile racordurilor speciale STAS 325-80

Diametrul nominal al racordului		Diametrul exterior al racordului [mm]	Lungimea racordului împerecheat [mm]
mm	in		
60,3	2 3/8 N	79,4	404
73,0	2 7/8 N	95,2	431
88,9	3 1/2 N	108,0	451
114,3	4 1/2 N	139,7	508
139,7	5 1/2 N	171,4	559
168,3	6 5/8 N	196,8	613
88,9	3 1/2 L	117,2	455
101,6	4 L	133,4	505
114,3	4 1/2 L	146,0	507
139,7	5 1/2 L	177,8	553
168,3	6 5/8	203,2	611

Tabelul XI.23

Prăjinile grele. În forajul rotativ întreaga garnitură trebuie susținută, deci supusă unor eforturi de tensiune, și numai o parte din greutatea ei, partea inferioară, trebuie să apese pe sapă, deci să fie expusă compresiunii.

În acest scop, între prăjinile obișnuite de foraj și sapă se intercalează prăjini grele (fig. XI.89), care servesc pentru apăsarea pe sapă, evitînd astfel compresiunea în prăjini.

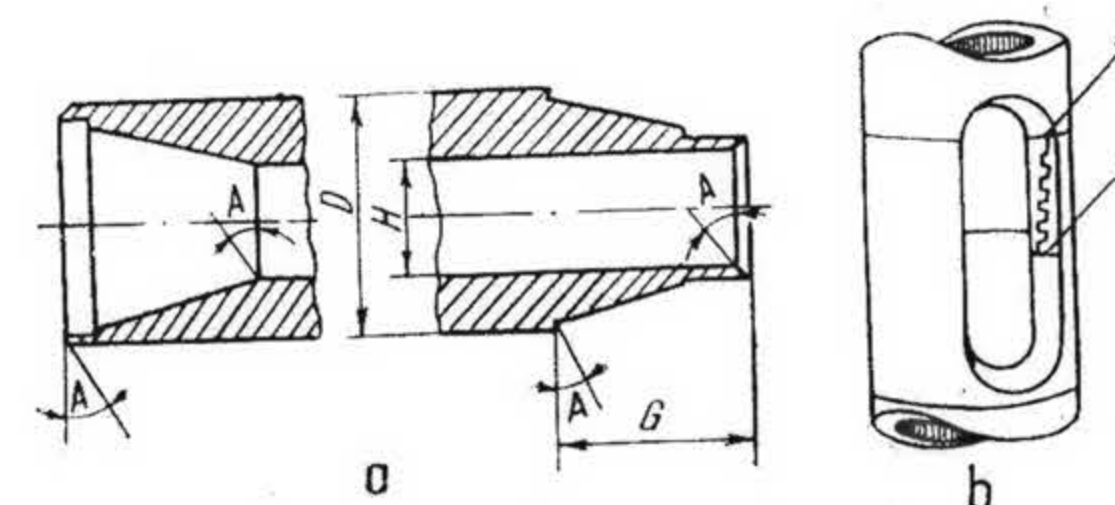


Fig. XI. 88. Prăjină din seria Q pentru carotiere introductibile :

a — prăjină (secțiune); b — vedere de ansamblu a îmbinării; A și B — punctele unde se nasc cele mai mari tensiuni în timpul forajului.

Tabelul XI.24

Dimensiunile prăjinilor din seria Q, fabricate de firma Longyear

		AQ		BQ		NQ		HQ	
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
D	maxim	1,756	44,60	2,197	55,80	2,760	70,10	3,510	89,15
	minim	1,750	44,45	2,187	55,56	2,750	69,85	3,500	88,90
H	maxim	1,381	35,08	1,818	46,18	2,380	60,45	3,071	78,02
	minim	1,375	34,92	1,808	45,92	2,370	60,20	3,062	77,79
G		1,625	41,27	1,750	44,45	1,750	44,45	1,750	44,45
A		15°		15°		15°		15°	

		ACQ		BCQ		NCQ		HCQ	
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
Diam. exterior		1 3/4	44,5	2 3/16	55,6	2 3/4	69,9	3 1/2	88,9
Diam. interior		1 17/16	36,5	1 7/8	47,6	2 7/16	61,9	3 3/16	80,9
Diam. interior cep și mufă		1 3/8	34,9	1 13/16	46,0	3 3/8	60,3	3 1/16	77,8

Prăjinile grele pentru forajul cu sondeze se execută prin laminare la cald, din oțel aliat marca 40 Cr și OLT 65, direct sub formă de țevă. După laminare, cu excepția celor cu diametrul de 70 mm, ele se îngroașă la capete și se filetează mufă-mufă sau mufă-cep. Dimensiunile prăjinilor grele utilizate în forajul cu sondeze sînt date în tabelul XI.25.

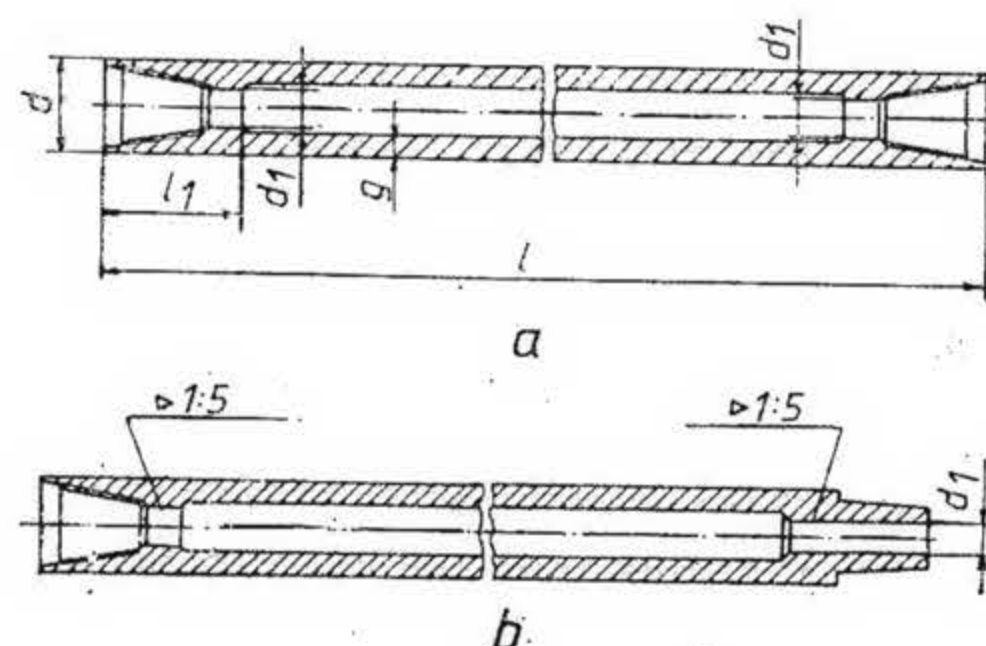


Fig. XI.89. Prăjină grea.

Reducții pentru garnitura de foraj. Reducțiile folosite în forajul cu sondeze sînt piese prin care se face legătura între diferitele părți ale garniturii de foraj, ca: prăjini de foraj și sapă sau carotieră; prăjini de foraj, prăjină de antrenare și capul hidraulic; prăjini de foraj și scule de instrumentație, prăjini grele etc.

Reducțiile pentru garnituri de prăjini de foraj pentru sondeze se execută în trei forme, conform STAS 5416-84:

— tip A — mufă-cep, tip B — mufă-mufă, tip C — cep-cep (fig. XI.90). Ele se fabrică din oțel aliat, prin forjare sau laminare.

Tabelul XI.25

Dimensiunile prăjinilor grele pentru sondeze

Dimensiunea nominală a prăjinii grele (diametrul exterior) [mm]	$d \pm 1,5\%$	$d_1 \pm 1$	$d_2 \pm 1$	$g - 12,5\%$	l	l_1 min.	Filete	Masa [kg/m] min.
80	80	35	25	21	4000...5000	120	RS 123/8 STAS 325-75	29,5
95	95	43	31,5	21			RS 127/8 STAS 325-75	37,0

Solicitarea prăjinilor. Garnitura de foraj este supusă în timpul forajului unui complex de solicitări statice și dinamice. Solicitățile statice sînt cauzate de greutatea proprie a garniturii de foraj și de momentele de torsiune, iar solicitările dinamice apar în timpul operațiilor de manevră, datorită accelerației masei garniturii de foraj în mișcare.

În procesul de foraj, sarcinile exterioare produse ca urmare a greutății proprii, a momentelor de torsiune ale forțelor centrifugale și ale forțelor perturbatoare provocate de acțiunea de dislocare a rocii de către unealta tăietoare, capătă uneori astfel de valori încît forma elastică a garniturii de foraj își pierde stabilitatea și apar zone de oboseală urmate de rupe.

Rezultă că procesele de oboseală apar ca urmare a regimului de instabilitate statică și dinamică, consecință a regimului neuniform de tăiere și dislocare a rocilor de către unealta tăietoare și a celorlalți parametri definitorii ai regimului de foraj.

Redarea matematică a complexului de fenomene este foarte dificilă. De aceea, pentru analizarea lor se consideră în primul rînd stările simple de tensiune din elementele garniturii de foraj și apoi stările de instabilitate statică și dinamică, precum și oscilațiile mecanice ale garniturii.

Controlul și îngrijirea prăjinilor. În timpul forajului prăjinile, în afara eforturilor care sînt supuse, se mai uzează și datorită circulației noroiului de foraj. Prin dese deșurubări și înșurubări, filetele speciale ale racordurilor se uzează și ele, modificîndu-și calibrul și dimensiunile, devenind improprie pentru lucru. Pe de altă parte, garnitura de prăjini în rotație se freacă de pereții găurii de sondă, în special în dreptul racordurilor, producîndu-se o uzură și o micșorare a diametrului exterior, din care cauză garnitura se rupe. Din aceste motive, după fiecare extragere trebuie să se facă un control amănunțit al garniturii, să se elimine mufele sau racordurile uzate, iar prăjinile ale căror pereți au suferit în urma corodării să se scoată din uz. Scoaterea din uz se face în urma cîntăririi prăjinii, prin care se constată greutatea cu care a scăzut. Dacă greutatea pierdută întrece limita prescrisă de norme, prăjinile se scot din funcție.

Pentru folosirea rațională a prăjinilor de foraj este necesară schimbarea periodică a poziției acestora în garnitură, astfel încît fiecare prăjină să lucreze un număr de ore aproximativ egal cu acela efectuat de celelalte prăjini și să ocupe succesiv, o anumită perioadă de timp, diferite poziții în componența garniturii de foraj. În aceste condiții se realizează o uzură uniformă a garniturii.

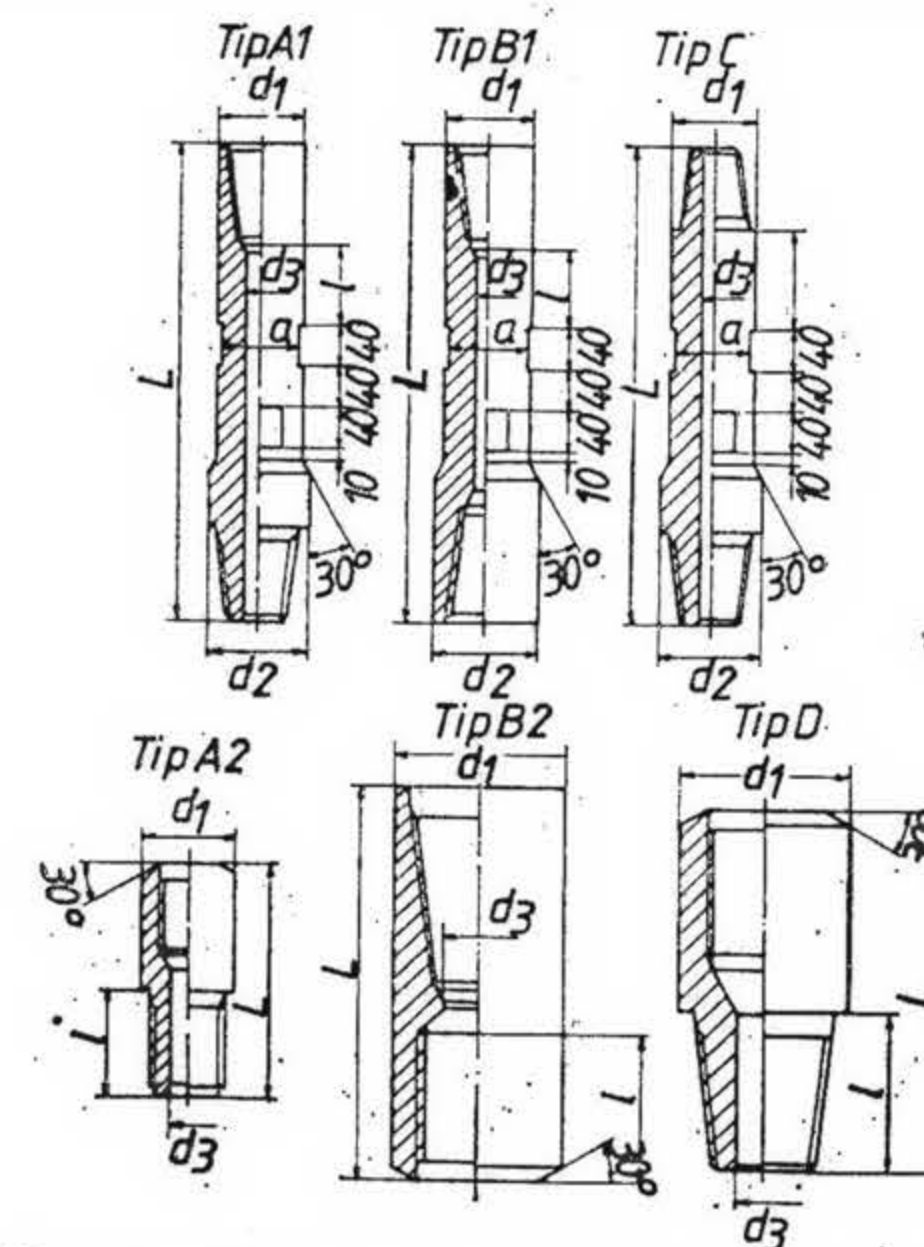


Fig. XI.90. Reducții pentru garnituri de prăjini de foraj pentru sondeze.

În afară de controlul făcut la sondă, prăjinile trebuie urmărite chiar la ieșirea din uzină în mod sistematic, sortate după calități și repartizate pe șantiere după gradul lor de uzură.

3.5.2. SCULE ȘI DISPOZITIVE DE MANEVRĂ PENTRU PRĂJINI ȘI BURLANE

Pentru manevrarea prăjinilor ca și pentru operațiile de tubaj se folosesc diferite scule: clești, chei, furci, călușe, elevatoare, șarniere etc.

Acestea se pot clasifica, după operațiile la care se utilizează, în:
— scule pentru înșurubarea și deșurubarea materialului tubular etc;
— scule și dispozitive de ridicat.

Seule pentru înșurubare și deșurubare. Din această categorie fac parte:

Cleștii, cheile pentru prăjini și cleștii pentru burlane. Cleștii pentru prăjini au o falcă ascuțită, iar cealaltă curbă, cu care se prinde prăjina. Deseori în locul cleștelui obișnuit se întrebuințează *cleștele reglabil* și *clești speciali cu falca articulată* (fig. XI.91, a).

Cleștii folosiți pentru coroane și manșoane alezoare de sondeze, conform STAS-ului în vigoare se execută în două tipuri:

tip I — clești cu știft (fig. XI.91, b) și tip II — clești cu fricțiune (fig. XI.91, c).

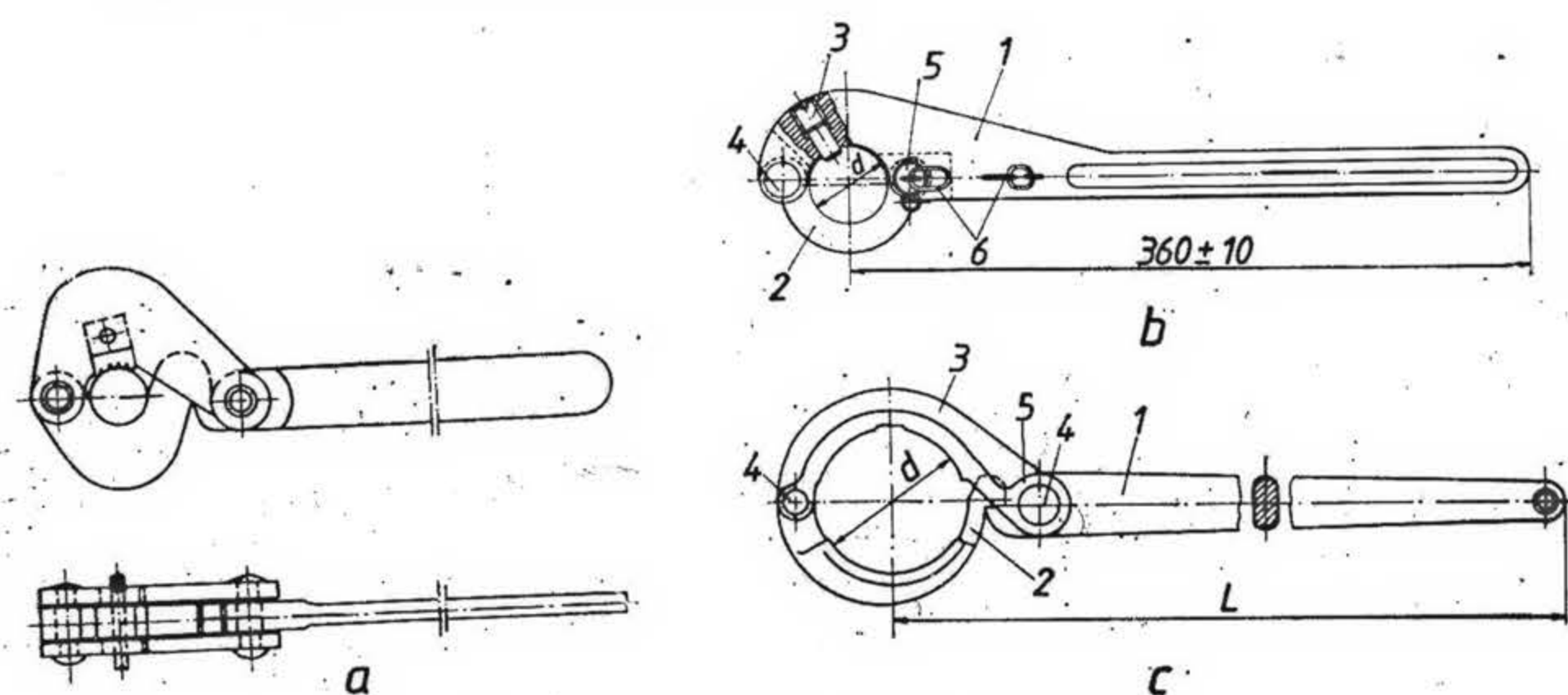


Fig. XI.91. Clești pentru sondeze:

a — clește special cu falca articulată pentru prăjini; b — clește cu știft (1 — coadă; 2 — falcă inferioară; 3 — știft; 4 — nit; 5 — bolt; 6 — lanț); c — clește cu fricțiune (1 — coadă; 2 — falcă inferioară; 3 — falcă superioară; 4 — bolt; 5 — inel).

Cheile pentru piulițe pot fi simple sau reglabile.

Cleștele cu lanț și cleștele cu șurub, pentru burlane, servesc la înșurubarea și deșurubarea burlanelor.

Seule și dispozitive de ridicare. Sculele și dispozitivele folosite pentru ridicarea garniturii sunt următoarele (fig. XI.92):

Furca pentru prăjini. Servește pentru suspendarea garniturii de foraj sau a burlanului de tubaj la gura sondei. Ea se așază sub mufa prăjinii sau a burlanului.

Elevatorul. Este folosit pentru ridicarea și coborîrea elementelor garniturii de foraj (fig. XI.92, b).

După modul de construcție se deosebesc: *elevatorul cu nipluri* (fig. XI.92, b), *elevatorul cu racorduri* (fig. XI.92, c) și *elevatorul cu cap sau suveiu* (fig. XI.92, d și e).

Tabelul XI.26

Caracteristici tehnice ale furcilor pentru prăjini

Dimensiunea nominală a prăjinii	Deschiderea furcii	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
mm	mm	kN	kg
33,5 N	27,5	120	8,3
42 N	32		9,5
50 N	37		9,6
50 RS	45		9,7
70	56		10
80	63		10
90	77		10

Elevatorul automat este prevăzut în interior cu bile ce culisează pe plane înclinate, avînd înclinarea spre interiorul dispozitivului.

Caracteristicile tehnice pentru furcă și elevator sînt date în tabelul XI.26 și respectiv tabelul XI.27.

Broasca cu pene. După extragere, prăjina se fixează în vederea deșurubării, cu ajutorul broastei cu pene, care constă din bacuri de formă circulară, ce oscilează în jurul a doi pivoți de fixare. Pe partea interioară, bacurile sînt prevăzute cu dinți, care se înfig în prăjini în timpul fixării.

Tabelul XI.27

Caracteristici tehnice ale elevatorului pentru sondeze

Mărimea elevatorului	Raza de curbură a toartei	Raza de așezare a toartei	Deschiderea elevatorului	Lungimea elevatorului	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
mm					kN	kg/buc
33,5	26	10	28	475	10	5,300
42	26	12,5	33	500	30	7,700
50	26	17,5	38	520	80	16,200
50 RS	26	17,5	45	535	100	18,900

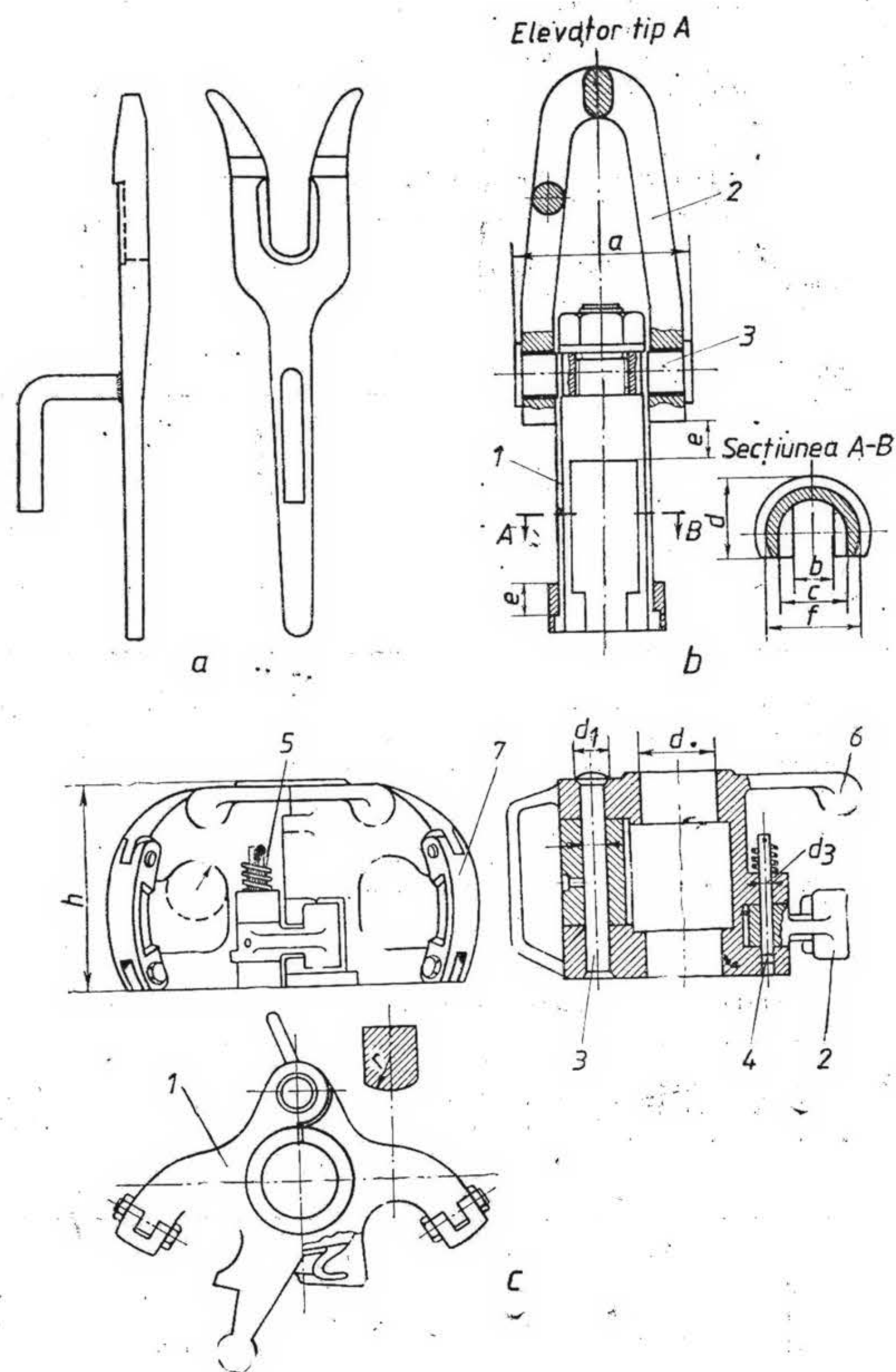


Fig. XI.92.

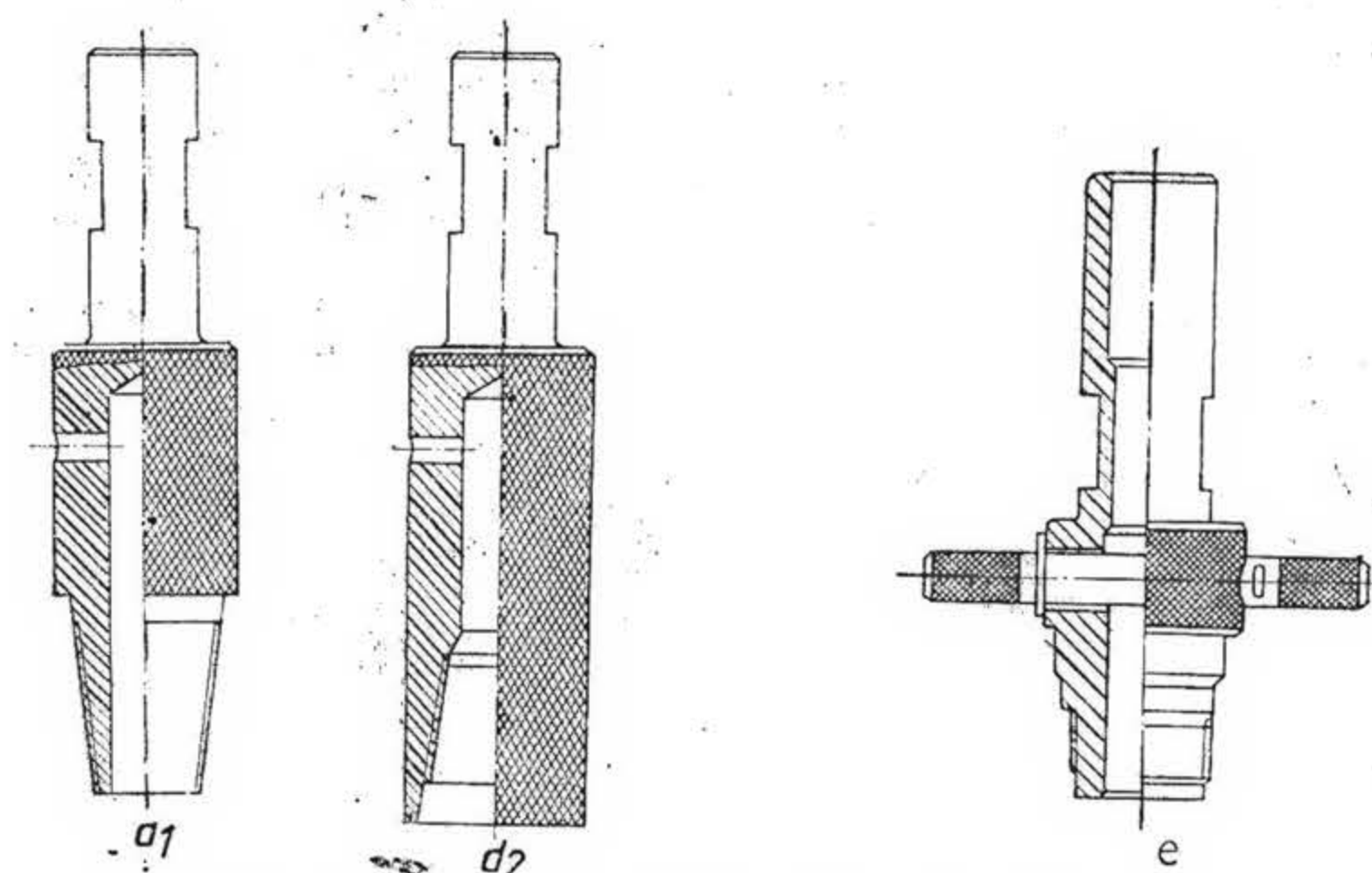


Fig. XI.92. Scule și dispozitive de ridicare :

a - furcă pentru prăjini; b - elevator pentru prăjini cu nipluri (1 - corp; 2 - jug; 3 - ax); c - elevator pentru prăjini cu racorduri (1 - corp; 2 - închizător; 3 - bolțul principal; 4 - bolțul închizătorului; 5 - arcul închizătorului; 6 - minere; 7 - brațe de siguranță); d - suvei pentru manevrarea prăjinilor grele (d1 - cu cep; d2 - cu mufă); e - suvei pentru prăjini netede.

Broaștele cu pene pentru sondeze se execută în două tipuri:

- tip P, cu o pană reglabilă și una mobilă acționată cu o pedală (fig. XI.93, a);
- tip PAM, cu pene articulate, acționate manual (fig. XI.93, b).

Fiecare din tipurile de broaște se execută în cîte două mărimi, funcție de sarcina maximă de lucru.

Caracteristicile broaștelor cu pene sînt date în tabelele XI.28 și XI.29.

Tabelul XI.28

Caracteristicile broaștelor cu pene tip P

Tipul și mărimea broaștelor	Diametrele nominale de prindere [mm]	I	l	h	Sarcina maximă de lucru [kN]	Masa (informativă) [kg]
P-3,2	28; 33,5; 35; 42; 44; 50; 51; 55,6	565	194	155	32	31,5
P-5	28; 33,5; 35; 42; 44; 50; 54; 55,6; 60; 66,7; 69,9; 80; 89	615	217	157	50	39,7

Capul hidraulic. Prin construcția sa, capul hidraulic asigură legătura între partea fixă a instalației, formată din geamblac și macara, și partea mobilă care este garnitura de foraj ce se rotește continuu. El are rolul de a susține garnitura de foraj și tot prin el trece noroiul de la pompa de noroi în prăjinile de foraj.

La unele instalații de foraj cu sondeze (instalația FS-1C), la care lipsește universalul sau masa rotativă — funcția de rotire a garniturii de foraj este realizată de capul hidraulic.

El este format dintr-o serie de piese (corpul, toarta, capacul) care nu se rotesc în timpul lucrului și o altă parte formată din piese care se rotesc (țeava de spălare și rulmenții).

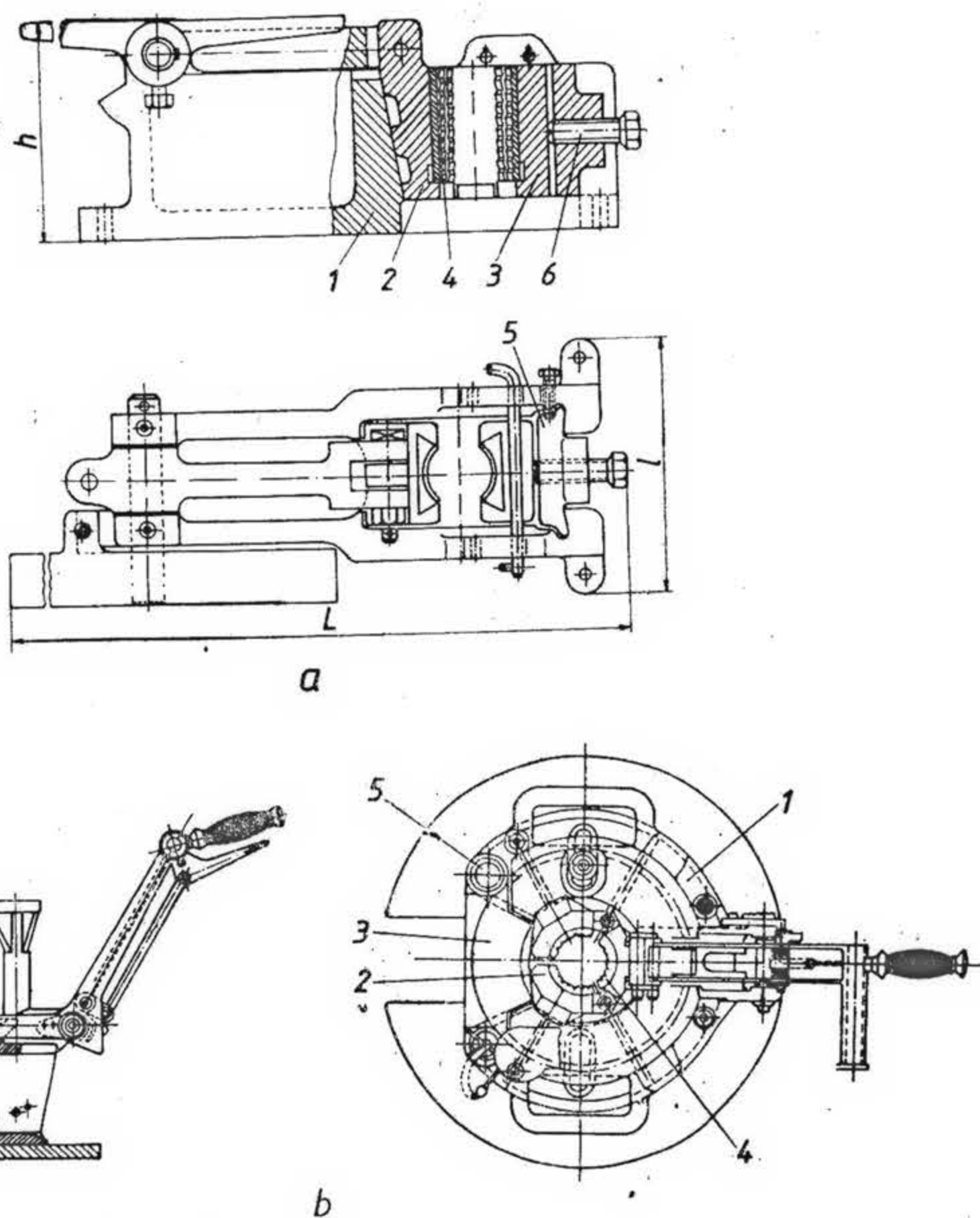


Fig. 2XI.93. Broaște cu pene:

a — tip P, cu o pană reglabilă și una mobilă (1 — corp; 2 — pană mobilă; 3 — pană reglabilă; 4 — cuțit; 5 — punte; 6 — șurub de reglaj); b — tip PAM cu pene articulate (1 — corp; 2 — pană; 3 — ușă; 4 — cuțit; 5 — bolțul ușii; 6 — placă de bază; 7 — apărătoare).

La partea superioară, capacul hidraulic este prevăzut cu o presgarnitură și o lulea de care se leagă furtunul de foraj.

Capul de jos al tubului central are o reducere cu filet stînga (normal și special) care se înșurubează în mufa prăjinii de antrenare. Filetul stînga protejează prăjina de antrenare, care se rotește la dreapta, de deșurubare în timpul forajului.

Tabelul XI.29

Caracteristicile broaștelor cu pene tip PAM

Tipul și mărimea broaștelor	Diametrele nominale de prindere [mm]	Sarcina maximă de lucru [kN]	Masa (informativă) [kg]
PAM-10	50; 54; 55,6; 60; 66,7; 69,9; 73; 80; 89	100	80
PAM-20	50; 60; 69,9; 73; 89; 108; 114; 127; 140	200	100

În funcție de metoda de lucru, capetele hidraulice sînt de două tipuri:

— tip ASz, folosite în cazul cînd în timpul forajului garnitura nu este suspendată de capul hidraulic (fig. XI.94, a);

— tip BSz, folosite în cazul suspendării garniturii în timpul forajului, prin intermediul capului hidraulic (fig. XI.94, b).

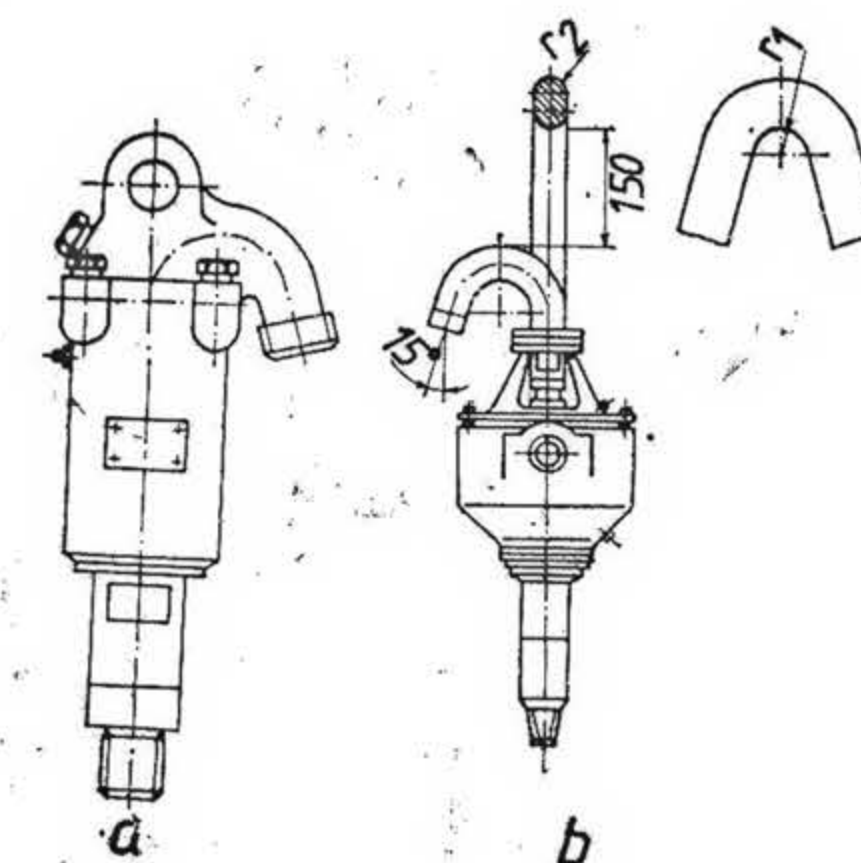


Fig. XI.94. Capete hidraulice.

Caracteristicile constructive ale celor două tipuri de capete hidraulice sînt date în tabelele XI.30 și XI.31.

Cablul de foraj. Face legătura între trolul de foraj, geamblac și macara. Unul din capetele cablului se leagă de toba granicului, iar celălalt capăt, după ce trece peste rolele geamblacului și ale macaralei, se leagă de turlă sau de macara. Cablurile folosite în foraj sînt cabluri rotunde, din sîrmă de oțel.

Ele sînt de două tipuri:

- cablu construcție normală, ale cărui toroane sînt formate din fire de același diametru;
- cablu compound (compus), ale cărui toroane sînt formate din fire cu diametre diferite.

Tabelul XI.30

Caracteristicile capului hidraulic tip ASz

Simbolul capului hidraulic	Sarcina maximă de lucru [kN]	Sarcina normală de lucru [kN]	Turația maximă fără sarcină, [rot/min]	Presiunea maximă de lucru [bar]	Filetul de legătură cu prăjina conform STAS 1968-69	Filetul de legătură a lulelei la furtun
(CH 1200 ASz)	—	—	1200	12	Sz EW	M22 × 1,5
CH 1500/1,2ASz	12	6,3	1500	16	Sz EW	M45 × 2
(CH2000/1,6ASz)	16	10	2000	25	Sz AW	M45 × 2
CH 1500/3,2ASz	32	20	1500	40	Sz BW	M45 × 2
(CH1400/5ASz)	50	32	1400	35	RS50 stg. STAS 5291-56	M45 × 2
CH1500/5 ASz	50	32	1500	63	Sz BW	M45 × 2
CH1500/8ASz	80	50	1500	63	Sz BW	M85 × 6
(CH 800/10 ASz)	100	63	800	63	2 ³ / ₈ N stg. STAS325-67	M85 × 6
CH1500/20 ASz	200	125	1500	100	Sz NW	M85 × 6

Se execută din sîrmă de oțel mangan sau alte oțeluri superioare, cu grosimea firului de 0,2—5 mm.

Sistemul macara-geamblac. Ridicarea și coborîrea garniturii de foraj precum și susținerea ei în timpul lucrului se realizează printr-un sistem de scripeti ce se compune dintr-o parte fixă numită *geamblac* și o parte mobilă — *macaraua*. În cazul forajului de adîncime, la care se folosesc turele de foraj, geamblacul se fixează în partea superioară a turelei.

Construcția geamblacului este în funcție de tipul de turlă (piramidală, mast, tripied) și de sistemul de înfășurare al cablului.

În cazul turelor piramidale și al tripiedelor, geamblacul are rolele asamblate pe un singur ax (geamblac monoax sau monobloc).

La instalațiile de sondeze cu mast, la care agregatul de foraj se retractează și axa tobei este în același plan cu axa de retractare (SG-150; SG-300; SG-650) geamblacul este constituit din două role montate pe două axe (fig. XI.95). În acest caz una din cele două role are rolul de a conduce cablul respectiv.

Tabelul XI.31

Caracteristicile capului hidraulic tip BSz

Simbolul capului hidraulic	CH 5 BSz	CH 10 BSz	CH 20 BS	CH 32 BSz
Sarcina maximă de lucru, kN	50	100	200	320
Sarcina normală de lucru, kN	32	63	125	200
Sarcina dinamică echivalentă a rulmentului principal, F_{ech} , kN	30	60	80	160
Turația maximă, rot/min	400	400	500	500
Filetul reducăției de legătură cu prăjina	RS 50 stg. STAS 5291-56	M45 × 2	RSI 2 ³ / ₈ N	FI 2 ⁷ / ₈
Filetul de legătură a lulelei la furtun	RS 1—2 ³ / ₈ Nstg STAS 325-67	M 85 × 6	M85	LP2 ¹ / ₂
Diametrul interior al țevii de săpare min., mm	22	27	27	40
Raza de curbura a toartei r_1 , mm	40	45	45	76,20
Raza de așezare a toartei r_2 , mm	15	20	20	76,20
Presiunea maximă de lucru, bar	35	63	63	100

Geamblacurile se execută pentru sarcinile maxime indicate în tabelul XI.32.

Distanța dintre rolele geamblacului este egală cu distanța între rolele macaralei.

Macaraua este utilajul care face legătura între cablul care trece peste rolele geamblacului și cîrligul de care este suspendată garnitura de foraj prin intermediul capului hidraulic.

Macaralele se execută în două tipuri constructive:

— tip A, cu dispozitiv rotitor pentru suspendarea sarcinii (fig. XI.96, a);

— tip B, cu bolt pentru prinderea cîrligului (fig. XI.96, b).

Caracteristicile tehnice ale macaralelor pentru sondeze sînt redată în tabelul XI.33.

La forajul cu sondeze, cînd se folosește trepiedul pentru susținerea garniturii și pentru operațiile de manevră, geamblacul este înlocuit cu *scripetele pentru geamblac* cu una sau două role. Acesta este suspendat de boltul de legătură al trepiedului, prin intermediul unei piese speciale numită *biglul geamblacului*.

Tabelul XI.32

Caracteristicile tehnice ale geamblacului

Sarcina maximă de lucru [kN]	Sarcina normală de lucru [kN]	Numărul de roți pe axul principal	Diametrul exterior al roții principale și al roții de deviere, d [mm]	Diametrul nominal al cablului [mm]
6,3	3,2	1	200	9
12	6,3	1	200	9
32	20	2	215	12
50	32	2	325	16
80	50	2	325	18
200	125	3	400	18
(16)	10	1	200	9
(50)	32	1	325	15
(70)	44	1	370	16

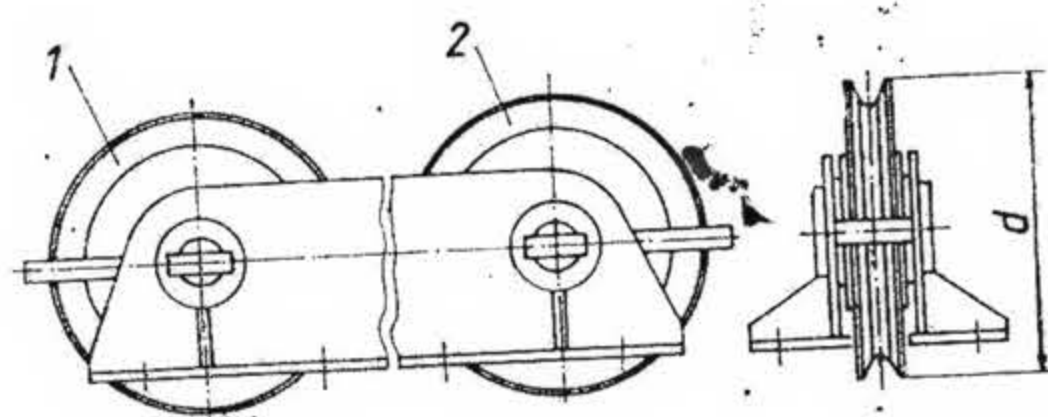


Fig. XI.95. Geamblac:

1 — roată de deviere; 2 — roată principală

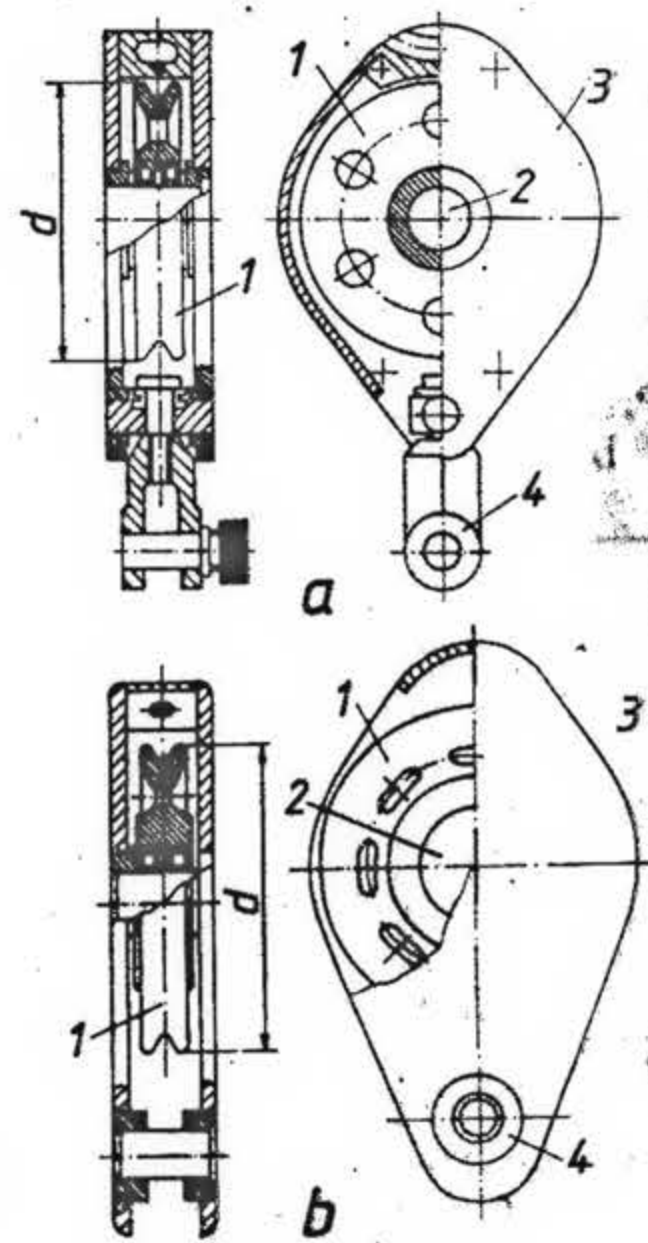


Fig. XI.96. Macarale:

a — tip A cu dispozitiv rotativ pentru prinderea sarcinii;
b — tip B cu bolt pentru prinderea cârligului;
1 — role; 2 — ax; 3 — apărătoare; 4 — jug.

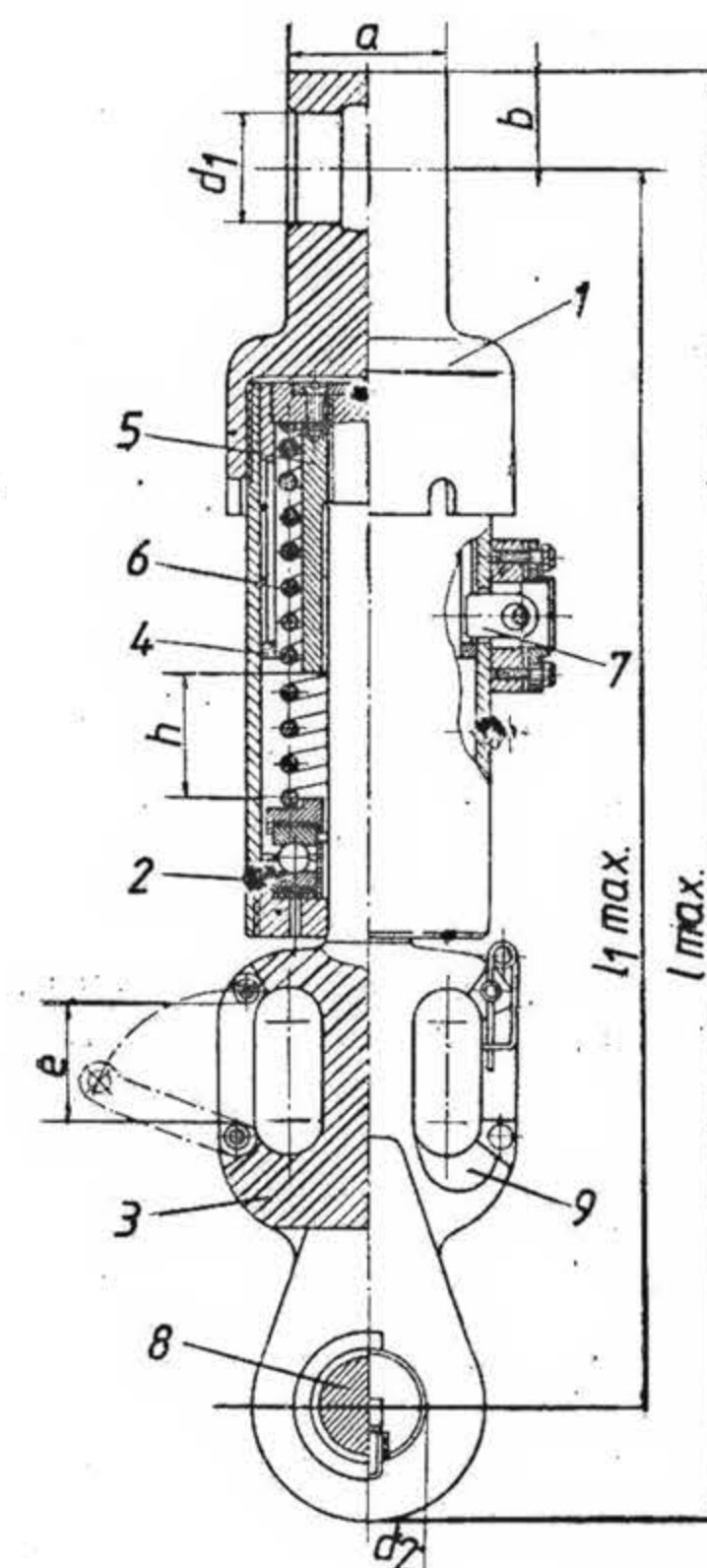
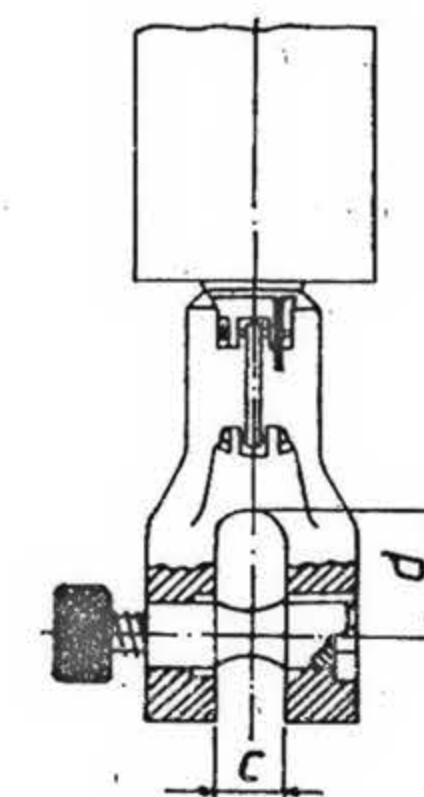


Fig. XI.97. Cîrlig:

1 — partea superioară care se articulează la macara; 2 — rulment axial; 3 — cîrligul propriu-zis;
4 și 5 — piese de sprijin a arcului; 6 — arc; 7 — piedică; 8 — bolt; 9 — umeri.



Tabelul XI.33

Caracteristicile tehnice ale macaralelor pentru sondeze

Tipul macaralei	Sarcina maximă de lucru la cîrlig [kN]	Sarcina normală de lucru la cîrlig [kN]	Numărul de roți	Diametrul exterior al roții d [mm]	Diametrul nominal al cablului [mm]
A	32	20	1	215	12
	50	32	1	325	16
	80	50	1	325	18
	200	125	2	400	18
B	50	32	1	325	15

Cînd se lucrează cu trepid la sondezele mecanice, de rola geamblacului, prin intermediul cablului, se leagă rola cu cîrligul de foraj.

Cîrligul. Pentru foraj se folosesc cîrlige obișnuite formate dintr-un jug și corpul cîrligului (cioc), legate articulat. Ciocul poate fi îndoit sau drept.

Cîrligul utilizat la instalațiile moderne de sondeze se compune dintr-o parte fixă care se articulează cu partea superioară la macara, iar la partea inferioară are un rulment axial pe care se sprijină partea mobilă compusă din restul cîrligului (fig. XI.97).

Caracteristica principală a cîrligului este sarcina pe care o poate suporta. Caracteristicile tehnice ale cîrligelor pentru sondeze sînt date în tabelul XI.34.

Tabelul XI.34

Caracteristicile tehnice ale cîrligelor pentru sondeze

Mărimea cîrligului	Sarcina maximă [kN]	Sarcina inițială a arcului [N]	a	b	c	d	d ₁	d ₂	e	h	max. l	l ₁ max.	r
C 5	50	920	66	42,5	10	80	50	50	45	55	615	553	15
C 10	100	1850	125	45	60	105	50	60	55	80	795	690	25
C 20	200	1850	125	45	60	105	50	60	50	80	795	690	30
C 25	250	1850	161	62,5	80	120	70	70	60	120	956	824	45

Furtunul pentru foraj. Legătura dintre conducta de împingere a fluidului de foraj și capul hidraulic se realizează printr-un furtun. El se execută din cîteva straturi de pînză cauciucată, avînd la mijloc o întăritură de sîrmă.

3.6. TUBAREA ȘI CIMENTAREA GĂURILOR DE SONDĂ

În cazul forajului de explorare prin formațiuni slab consolidate, friabile, pentru a preîntîmpina dărîmarea pereților găurii de sondă, aceasta se tubează, iar pentru a preîntîmpina comunicația între strate se execută izolarea acestora prin cimentare.

3.6.1. TUBAREA

În rocile eruptive și chiar în unele roci sedimentare, cum sînt gresile, calcarele etc., pereții găurii de sondă se pot menține nesușinuți; însă în rocile slab consolidate, ca nisipuri, argile, marne, pereții găurii de sondă se surpă dacă nu sînt susținuți. Susținerea pereților găurii de sondă se face cu ajutorul burlanelor, operație care se numește *tubare*. Tubarea găurilor de sondă are ca scop uneori nu numai susținerea pereților, ci și izolarea stratelor între ele, cum ar fi izolarea stratelor acvifere așezate deasupra sau dedesubtul stratelor productive, sau se execută tubarea în scopul exploatării (la sondele de apă, sare, petrol, gaze).

La forajul de explorare cu sondeze mecanice, la care se extrag carote pe toată adîncimea găurii de sondă și apoi aceasta este părăsită, tubarea pe toată adîncimea găurii de sondă se face numai în cazuri rare. De obicei, la începerea forajului unei găuri, se introduce un burlan de $7\frac{5}{8}$ in sau $8\frac{5}{8}$ in, în lungime de 2—4 m, care se cimentează. Rolul acestui burlan este de a consolida terenul la gaura gurii sondei și de a servi la ghidaj pentru foraj, precum și pentru dirijarea noroiului de foraj. În cazul cînd rocile de la suprafață sînt mai puțin consistente, atunci se susțin cu

burlane de diametru $5\frac{3}{4}$ in pînă la adîncimea de 50 m, săparea făcîndu-se în continuare fără susținere.

În cazurile cînd formațiunile ce se forează sînt afinate pe porțiuni mari, atunci se face tubarea conform unui program de tubare cu burlane de sondeze, STAS 1967—80, prin care se stabilesc: numărul coloanelor ce se vor tuba; diametrele și adîncimile acestora; tipul și diametrul sapelor folosite; cimentările coloanei de tubare și înălțimea de cimentare a fiecărei coloane.

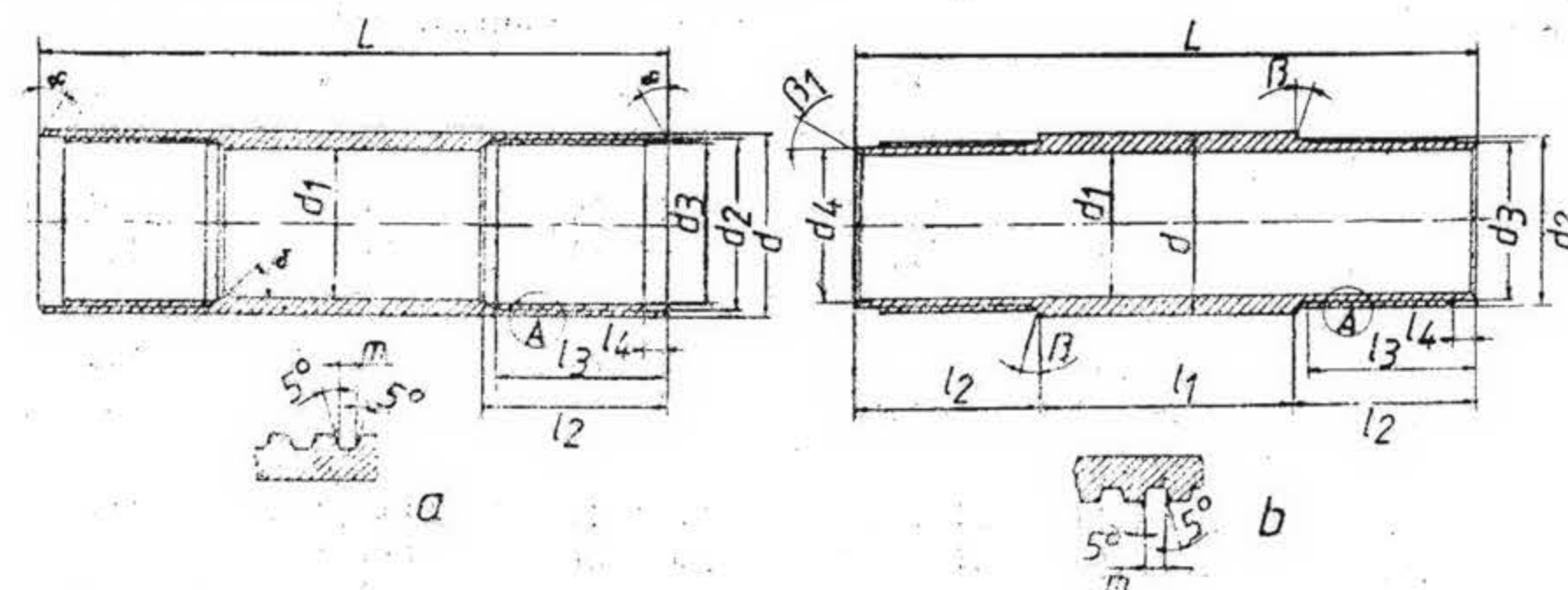


Fig. XI.98. Burlan (a) și niplu de legătură (b) pentru forajul cu sondeze.

Factorii care intervin în stabilirea programului de tubare sînt de ordin geologic (natura rocilor traversate, deranjamente tectonice, caverne etc), tehnic (tipul instalației de foraj, rezistența coloanelor, adîncimea interioară a găurii de sondă etc.) și economic (costul forajului, costul burlanelor etc.). În afară de acești factori, mai trebuie să se țină seama de obiectivul urmărit prin foraj.

Tubarea se face cu *burlane cu filet*, cu *nipluri de legătură* tip X (fig. XI.98), care se execută din oțel aliat OLT 65, 44 Mn 11, și 43 MoMn 16. Tipurile și dimensiunile burlanelor pentru forajul cu sondeze și niplurile de legătură ale acestora, conform STAS 1967—80, sînt date în tabelele XI.35 și XI.36.

Burlanele folosite pentru tubare trebuie să aibă o mare rezistență, pentru a putea face față eforturilor la care sînt supuse. Ele trebuie să reziste la orice condiții de manipulare, la tracțiune sub greutatea proprie, la presiunea interioară și exterioară. La proiectarea tubării se folosește diagrama, din care se citesc direct grosimile burlanelor în funcție de adîncime, astfel că nu este nevoie să se calculeze fiecare coloană în parte.

Cele mai importante solicitări la care este supusă coloana de tubare sînt solicitările la întindere, solicitarea la presiunea exterioară datorită presiunii exercitate de greutatea fluidului în spatele coloanei cînd gaura de sondă este golită parțial sau total, ca și împingerii exercitate de unele strate din spatele coloanei, solicitarea la presiunea interioară datorită presiunii de zăcămint, solicitarea la încovoire datorită devierii de la verticală a găurilor de sondă și solicitarea la flambaj, cînd coloana se înțepenește în teren sau se sprijină pe talpa găurii de sondă.

Înainte de efectuarea tubării se fac o serie de lucrări pregătitoare care constau în verificarea întregii instalații, curățirea găurii de sondă, omogenizarea fluidului de foraj prin circulație și înlocuirea sculelor de manevră pentru prăjini cu cele pentru burlane (clești, elevatoare etc.). Pentru a conduce coloana de tubare în gaura de sondă, la primul

Tabelul XI.35

Dimensiunile burlanelor pentru forajul cu sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul				
		AX	BX	NX	HX	PX
		Diametrul nominal [mm]				
		57	73	89	114	140
d	max. min.	57,40 57,15	73,28 73,02	89,28 88,90	114,68 114,30	140,74 138,66
d_1	max. min.	50,80 50,55	65,07 64,82	80,95 80,57	104,78 104,39	130,51 125,30
L	max. min.	2974,54 2973,02	2962,81 2961,28	2962,81 2961,28	2950,72 2949,19	2948,94 2947,42
α		30°	30°	30°	30°	15°
d_2	max. min.	54,05 54,00	68,33 68,28	84,20 84,15	108,48 108,38	133,65 133,53
d_3	max. min.	52,45 52,40	65,94 65,89	81,81 81,76	106,04 105,97	131,24 131,14
l_2	min.	57,15	60,32	66,68	63,50	69,85
l_3	min.	53,98	57,15	63,50	57,15	66,68
l_4	max. min.	6,60 6,10	6,60 6,10	6,60 6,10	8,13 7,62	9,78 9,27
m	max. min.	1,63 1,55	1,60 1,52	1,60 1,52	2,59 2,51	2,57 2,46
Pași pe 25,4 mm	—	8	8	8	5	5
δ	—	—	—	—	—	30°

Tabelul XI.36

Dimensiunile niplurilor de legătură pentru burlane folosite la forajul cu sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul				
		AX	BX	NX	HX	PX
		Diametrul nominal [mm]				
		57	73	89	114	140
d	max. min.	57,40 57,15	73,28 73,02	89,28 88,90	114,68 114,30	140,74 133,66
d_1	max. min.	48,67 48,41	60,58 60,32	76,58 76,20	100,38 100,00	127,38 122,30
L		177,80	196,85	209,55	215,90	228,60
l_1	max. min.	74,47 73,96	86,24 85,70	86,21 85,70	98,30 97,79	100,08 99,57
d_4	max. min.	50,67 50,04	64,14 63,50	80,01 79,38	104,27 103,63	129,41 128,78
β	max.	30°	30°	30°	30°	15°
β_1		30°	30°	30°	30°	30°
d_2	max. min.	53,95 53,90	68,22 68,17	84,10 84,05	108,30 108,23	133,45 133,38
d_3	max. min.	52,35 52,22	65,84 65,71	81,71 81,58	105,89 105,76	131,06 130,96
l_2	max. min.	52,07 51,56	55,75 55,24	61,98 61,47	59,18 58,67	64,64 64,14
l_3	min.	47,62	50,80	57,15	53,98	60,32
l_1	max. min.	5,03 4,52	5,03 4,52	5,03 4,52	5,03 4,52	5,00 4,50
m	max. min.	1,63 1,55	1,60 1,52	1,60 1,52	2,59 2,51	2,57 2,46
Pași pe 25,4 mm		8	8	8	5	5

burlan se înșurubează o bucată scurtă de burlan cu pereți groși, numită *șiu* (STAS 2293-79). Pentru ca șiu să înainteze ușor în neregularitățile găurii de sondă, se montează în capul lui un dop de ghidaj care poate fi din lemn, ciment sau fontă (fig. XI.99).

Elementele accesorii ale coloanei de tubare sînt: *șiu* sau *sabotul*, *inelul de reținere*, care se montează între două bucăți de burlane la 10-20 m deasupra șiuului, *dispozitivele*

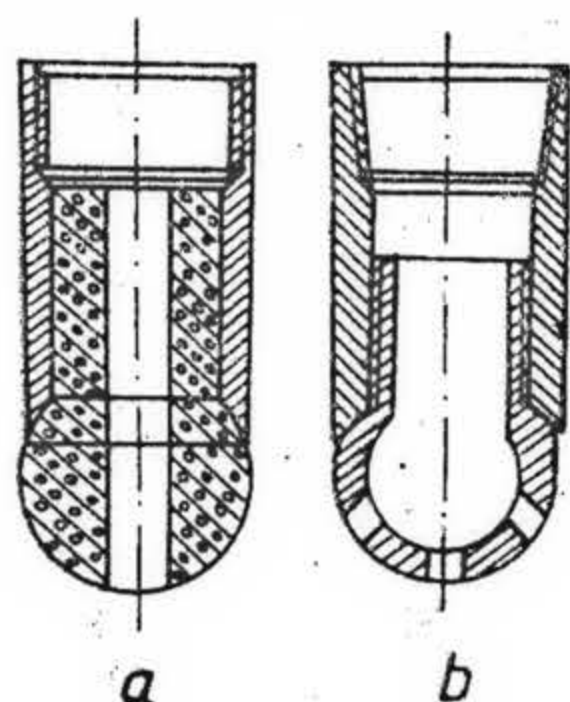


Fig. XI.99. Șiu :

a - cu dop de ciment; b - cu dop din fontă.

mită porțiune din gaura de sondă sau porțiunea de la talpa găurii de sondă pînă la coloana precedentă. Ea se recomandă numai în cazuri cu totul speciale.

Dificultățile ce pot interveni în timpul tubării sînt: manșonarea coloanei, adică formarea în fața șiuului a unui dop pe măsură ce coloana avansează, ca urmare a folosirii unui fluid necorespunzător la săpare; lipirea coloanei de pereții găurii de sondă în dreptul unor strate de marnă și argilă atunci cînd coloana nu este în mișcare; scăparea burlanelor și deformarea datorită forțării lor la introducerea în gaura de sondă

3.6.2. CIMENTAREA

Prin cimentare se urmărește fixarea coloanei tubate cu terenul, în scopul izolării formațiunilor purtătoare de fluide sub presiune (țiței, apă) sau în scopul închiderii porilor și fisurilor straturilor în care are loc pierderea de circulație.

Se mai recurge la cimentare și în cazurile în care nu se pot lichida accidentele de fund (garnitura rămasă în gaura de sondă) sau se urmărește devierea găurii de sondă pentru atingerea obiectivelor geologice.

Cimentul folosit în operațiile de cimentare, în foraj este un ciment portland special, a cărui compoziție este arătată în tabelul XI.37.

După condițiile specifice în care se face cimentarea, timpul de priză trebuie mărit sau micșorat. În acest scop se introduc în laptele de ciment substanțe chimice care au rolul de acceleratori sau întîrziatori de priză. Ca *accelerator* se folosește clorura de calciu (Cl_2Ca) în proporție de 2-3% din cantitățile cimentului praf. Mai rar se

utilizează hidroxidul de potasiu, hidroxidul de sodiu și silicatul de sodiu. Ca *întîrziatori* de priză se utilizează gipsul (pînă la 2%), varul, tananții de sodiu etc.

În mod obișnuit se folosește laptele de ciment cu factorul apă-ciment $m = 0,4-0,6$. Acest factor reprezintă raportul dintre cantitatea de apă în cantitatea de ciment exprimate în kg.

Tabelul XI.37

Compoziția chimică a cimentului Portland

Componentul	%
Oxid de calciu, CaO	60-6
Bioxid de siliciu, SiO_2	17-25
Oxid de aluminiu, Al_2O_3	3-8
Oxid de fier, Fe_2O_3	0,3-6

Pentru ca cimentarea să-și atingă scopul, este necesar să se obțină inelul de ciment de aceeași grosime. În acest scop se montează pe coloana de burlane centrori, care înlătură lipirea burlanelor de pereții găurii de sondă și asigură centrarea acestora.

Dacă se urmărește cimentarea integrală a găurii de sondă, laptele de ciment se introduce prin prăjinile de foraj pînă la talpa găurii de sondă și pe măsură ce nivelul său se ridică se extrage o parte din prăjini.

După cimentare se determină adîncimea oglinzii cimentului și se ia probă din dopul de ciment, pentru a se vedea modul cum cimentul a făcut priză. Se verifică apoi etanșeitatea coloanei, pompînd fluidul de foraj la o presiune de 30 daN/cm² timp de 30 de minute. Dacă presiunea nu scade, coloana este etanșă.

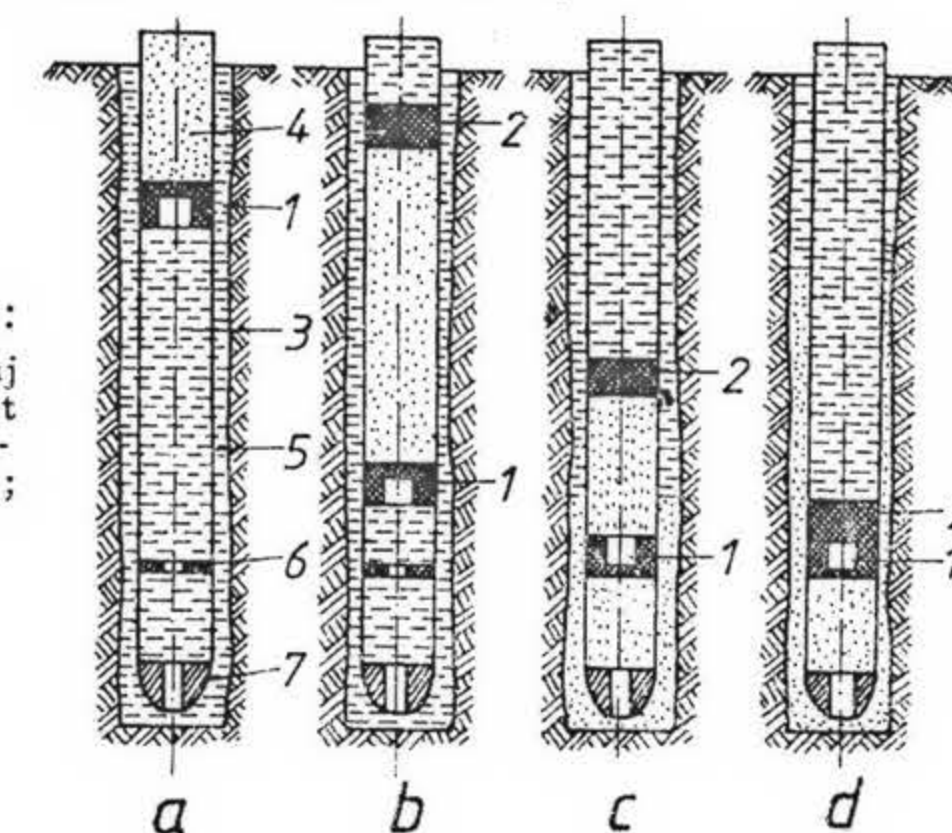


Fig. XI.100. Cimentarea cu două dopuri :

a - primul dop; b - începerea pomparei fluidului de foraj după cel de-al doilea dop; c - refularea laptelui de ciment în spatele coloanei; d - terminarea operației; 1 - pompa; 2 - al doilea dop; 3 - noroi; 4 - ciment; 5 - burlane; 6 - inel; 7 - șiu.

Pentru realizarea cimentării de coloane se utilizează ca metode: cimentarea cu două dopuri, cimentarea cu coloană perforată, cimentarea etajată și cimentarea de coloană pierdută. Dintre acestea, în forajul de explorare se folosește cimentarea cu două dopuri (fig. XI.100) și cimentarea de coloană pierdută.

Cimentarea cu două dopuri. Constă în introducerea în coloană a primului dop de cimentare găurit, după care începe să se pompeze lapte de ciment. Se introduce apoi al doilea dop de cimentare, după care se pompează fluid de foraj. Când primul dop a ajuns la inelul de reținere, laptele de ciment trece prin primul dop și de aici prin șiu se ridică în spațiul inelar. Se continuă în felul acesta pomparea până când al doilea dop se așază peste primul dop, moment în care cimentarea este terminată.

Cimentarea de coloană pierdută. Laptele de ciment se pompează prin prăjinile de foraj, în cantitatea necesară umplerii spațiului inelar dintre coloana pierdută și pereții găurii de sondă. După aceea se pompează o cantitate de fluid egală cu volumul interior al coloanei pierdute și al prăjinilor de foraj. La terminarea pomparei se degajează prăjinile prin rotire la stînga. La aplicarea acestei metode coloana pierdută se echi-pează cu șiu și valvă de reținere.

Reușita unei cimentări depinde de o serie de factori, dintre care mai importanți sînt: starea în care se află pereții de sondă, caracteristicile fluidului de foraj, mărimea spațiului inelar, calitatea cimentului și buna organizare a operației, precum și starea utilajelor.

3.7. DIFICULTĂȚI ȘI ACCIDENTE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

În forajul unei găuri de sondă dificultățile care pot surveni sînt: devierile mari față de verticală, pierderile mari de circulație și accidente tehnice de foraj sau avarii care au loc în gaura de sondă. Acestea din urmă se mai numesc și *accidente de fund*.

3.7.1. DEVIEREA GĂURILOR DE SONDĂ

O verticalitate absolută a găurii de sondă nu se poate obține cu mijloacele actuale de lucru. Totuși, în mod practic se poate considera că forajul unei găuri de sondă poate fi condus fără dificultăți tehnice, atingînd obiectivul geologic final, dacă devierea de la verticală nu depășește 1° pentru fiecare 200 m foraj.

Cauzele devierilor se pot grupa în trei categorii: cauze datorate instalării sau montajului greșit, cauze de ordin geologic și cauze de ordin tehnologic.

Cauze datorate montajului greșit. O turlă sau trepid montate excentric, o fundație slabă sau un burlan de ghidaj rău centrat sînt cauze ale devierilor.

Cauze de ordin geologic. Anizotropia rocilor, înclinările prea mari ale straturilor sau schimbările de tărie ale rocilor, prezența concrețiunilor silicioase, a golurilor carstice etc. în timpul săpării pot produce devierea găurii de sondă (fig. XI.101, a).

Cauze de ordin tehnologic. Între acestea se situează apăsarea exagerată pe sapă, aplicată în dorința de a obține o viteză mecanică sporită, numărul mic de rotații și debitul de spălare prea abundent în roci friabile, folosirea de scule improprii, tuburi de carotiere strimbe, scurte sau înfiletate excentric, sape sau coroane prea uzate etc.

O deviere este semnalată prin unele indicii destul de precise. Astfel, la cîrlig apare o sarcină mai mică decît cea normală în timpul introducerii garniturii și invers, o sarcină mult sporită la extragerea garniturii și o rotire dificilă a garniturii libere în gaura de sondă.

Elementele care caracterizează devierea unei sonde sînt: *unghiul zenital* z , care arată devierea axei sondei față de verticală, și *azimutul* α , adică unghiul diedru pe care-l face planul axei sondei cu o direcție anumită, luată ca reper, spre exemplu direcția nord-sud (fig. XI.101, b).

Măsurarea unghiului zenital se face în mod simplu, folosind fie sticla cu acid fluorhidric, fie bara cu sulfat de cupru.

Măsurarea mai precisă a unghiurilor zenitale se face cu ajutorul *goniometrului* sau cu *înclinometrele* care pot fi: giroscopice, magnetice și orientate (tabelul XI.38).

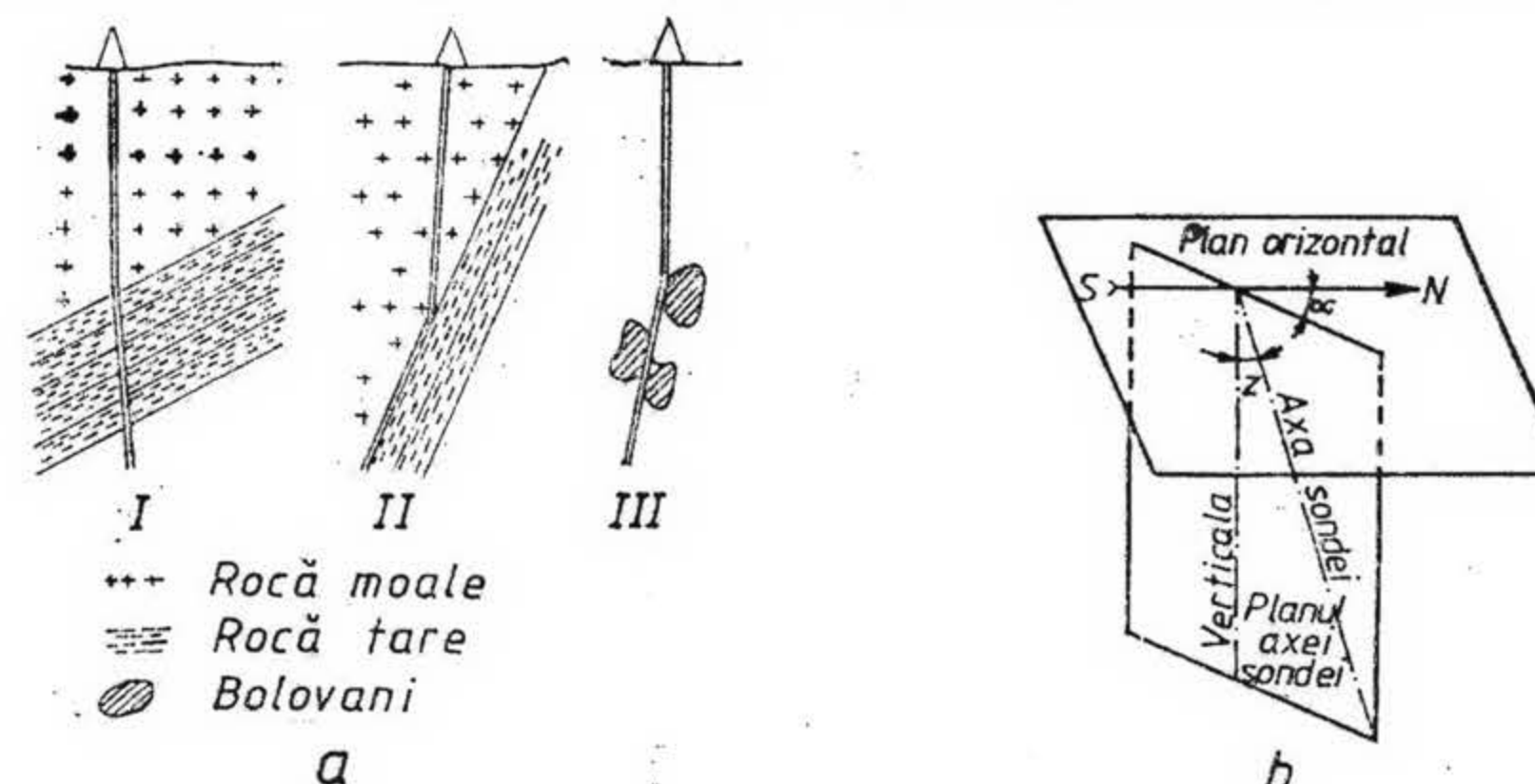


Fig. XI.101 Devierea găurii de sondă din cauze de ordin geologic (a) și elementele găurii de sondă deviate (b).

Îndreptarea sondelor deviate. Este o operație dificilă, costisitoare și de lungă durată.

Rectificarea unei sonde deviate se poate încerca prin una din metodele următoare:

— îndreptarea printr-un dispozitiv articulat;

— îndreptarea prin pană de deviere și foraj dirijat;

— cimentarea porțiunii deviate și resăparea ei pe intervalul respectiv;

— torpilarea găurii deasupra locului de deviere și apoi tubarea cu o coloană de burlane.

Forajul dirijat. Sînt cazuri cînd prin săparea unei găuri de sondă verticală nu se poate atinge zăcămintul de substanță utilă. Aceste cazuri se ivesc în următoarele situații:

— substanța utilă se găsește în filoane de mică grosime, așezate aproape vertical (fig. XI.102, a);

— forajul se execută în imediata apropiere a unei halde sau mine exploatate (fig. XI.102, b);

— stratificația prezintă dislocări tectonice și îndeosebi falii, care fac să scape substanța utilă (fig. XI.102, c);

— stratul urmărit se găsește sub diverse construcții (fig. XI.102, d);

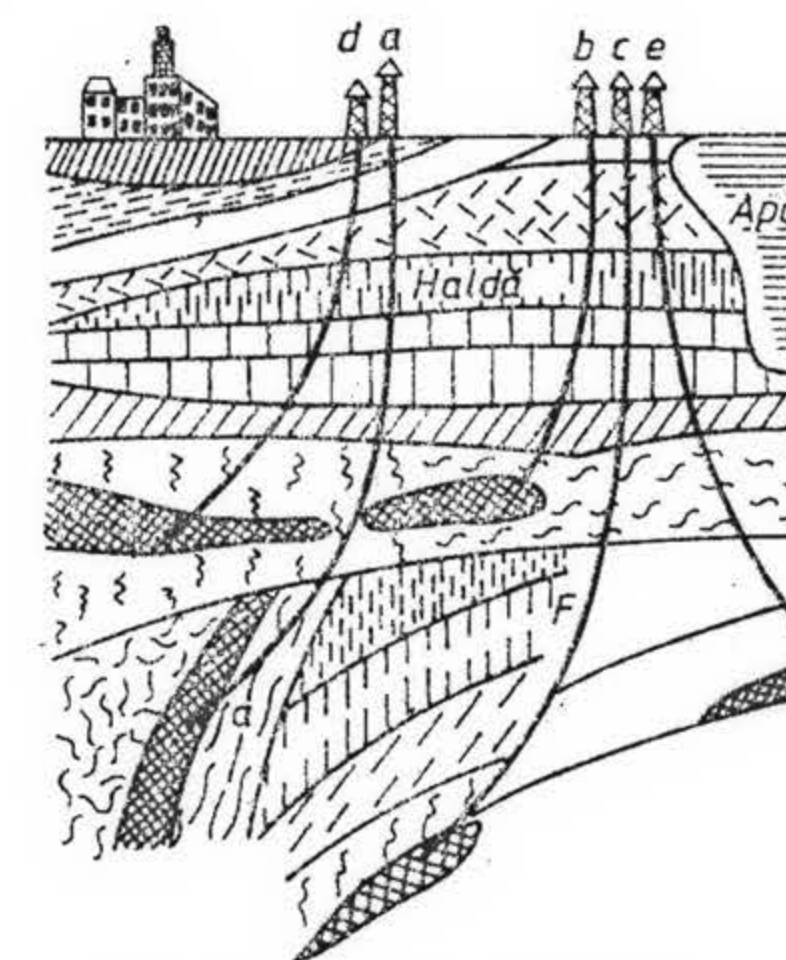


Fig. XI.102. Forajul dirijat.

Caracteristici	Românesc	Sovietice							Eastman — R.F.G.		
		IS-2	IS-3	IS-4	IK	UMI-25	MIA-3	IG-2	Easteco	Single shot Tip A	Multiple shot
Unghiul față de verticală (zenital) [grade] Unghiul în plan orizontal (azimutal) [grade] Eroarea la măsurarea deviației Eroarea la măsurarea azimutului Diametrul aparatului [mm] Lungimea aparatului [mm] Diametrul carcasei [mm] Lungimea carcasei [mm] Numărul de puncte măsurate într-o lansare în sondă	0 — 15° 0 — 45° 0 — 360° ± 30' ± 10° 60 300 75 1 500 3	0 — 48° 0 — 360° ± 15' ± 5° 45 800 60 2 500	0 — 50° 0 — 360° ± 30' ± 5° 50 800 65 2 185	0 — 50° 0 — 360° ± 30' ± 5° 45 800 60 2 500	0 — 50° 0 — 360° ± 30' ± 4° — — 25 800	0 — 60° 0 — 360° ± 30' ± 5° — — 33 1 000	0 — 60° 0 — 360° ± 30' ± 5° 70 400 89 2 500	0 — 30° 0 — 360° ± 15' ± 3° 32 610 45 800 unu	0 — 20° 15 — 90° 0 — 360° ± 12' ± 3° 32 610 48 1 000 unu	0 — 12° 0 — 17° 15 — 90° 0 — 360° ± 12' ± 3° 32 1 066 50 1 500 350	Inregistrare mecanică pe disc de carton Inregistrare electrică pe placă fotografică Inregistrare electrică pe film de 10 mm
Felul înregistrării	Inregistrare mecanică pe disc de carton	nelimitat							Inregistrare mecanică pe disc de carton	Inregistrare electrică pe placă fotografică	Inregistrare electrică pe film de 10 mm
Felul introducerii în sondă	cu prăjinile	cu cablul trifilar	cu cablul monofilar				cu cablul trifilar	cu cablul monofilar sau cu prăjinile			
Tensiunea curentului continuu [V]	—	100	60	90	60	12	12	12	—	1,5	12
Tensiunea curentului alternativ [V]	—	127/220				—	—	127/220	—	—	—

Se citește la suprafața sondei pe un galvanometru mărimea potențialului electric, iar acesta se calculează în grade sexagesimale

nelimitat

— stratul se află sub apă, mlaștină sau locuri inaccesibile (fig. XI.102, e).
În aceste cazuri și în altele similare, este necesar ca sonda să fie săpată înclinată într-o anumită direcție, spre a ajunge într-un punct dinainte stabilit.
Acest foraj dirijat se poate realiza în mai multe feluri:
— orientînd gaura de sondă de la început în direcția voită;

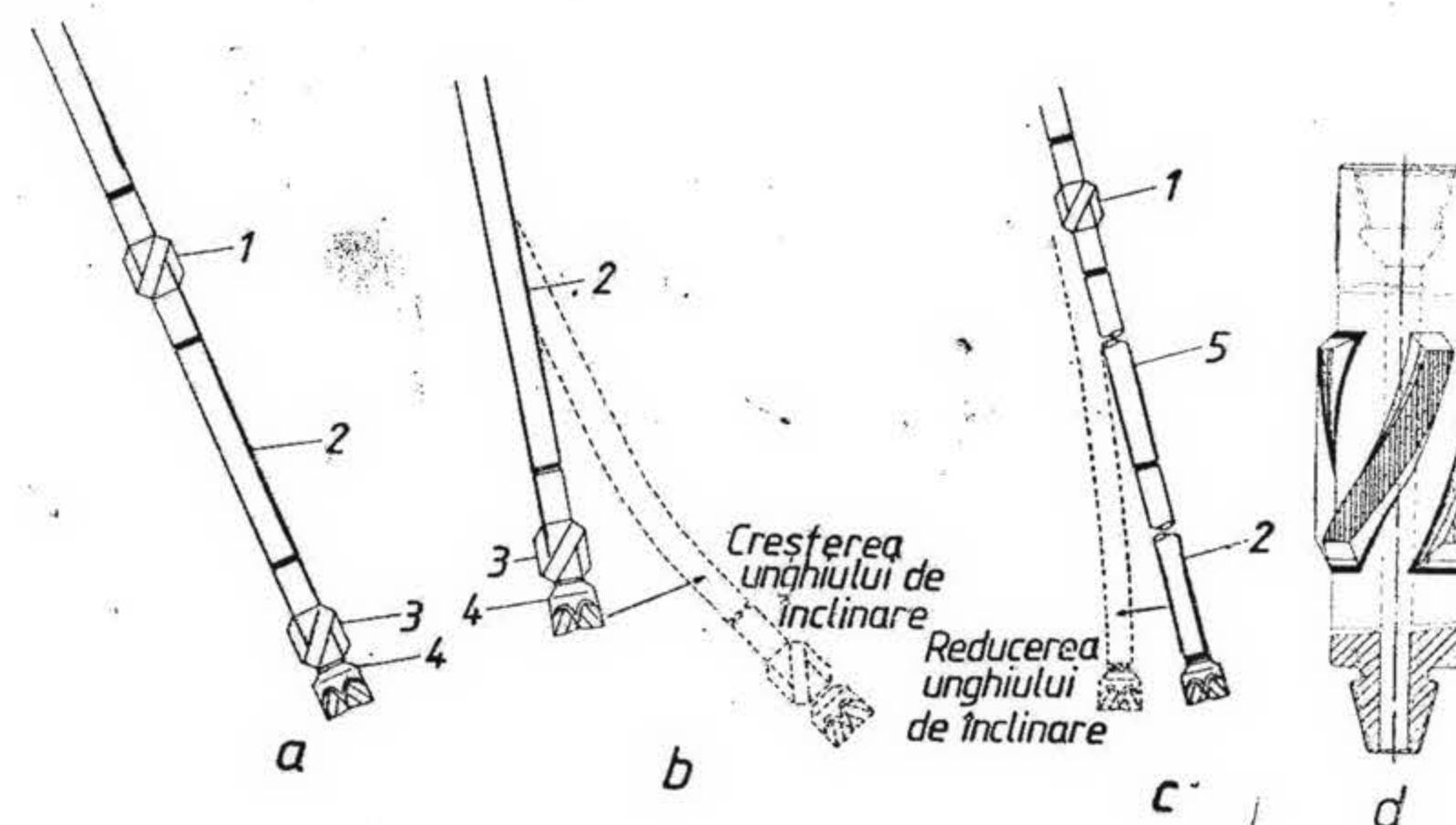


Fig. XI.103. Devierea voită a găurii de sondă cu ajutorul stabilizatoarelor:

a — foraj direcțional cu unghi de înclinare constant; b — foraj direcțional cu creșterea unghiului de deviere (înclinare); c — foraj direcțional cu reducerea unghiului de deviere; 1 — stabilizator pentru garnitura de foraj; 2 — prajină grea antimagnetice; 3 — stabilizator situat deasupra sapei; 4 — saopă; 5 — prajină de foraj; d — stabilizator (detaliu).

— dînd găurii sondei o înclinare progresivă în formă de arc;
— executînd un foraj vertical la o adîncime de 50—60 m, după care se imprimă înclinarea în arc.

Devierea voită a unei găuri de sondă se face cu ajutorul unor scule speciale numite *stabilizatoare*, așa cum se vede în fig. XI.103.

3.7.2. PIERDERI DE CIRCULAȚIE

În formațiunile străbătute, uneori se produc pierderi de circulație. Cauzele pierderilor de circulație pot fi de natură geologică sau tehnologică.

Cauzele geologice se datoresc stratelor neconsolidate (nisipuri și gresii), formațiunilor faliatate, prezenței golurilor cavernoase sau a stratelor poroase ai căror pori sînt cel puțin de trei ori mai mari decît particulele maxime ale fluidului de foraj.

Cauzele tehnologice constau fie în creșterea presiunii exercitate pe strat, fie prin debite prea mari de circulație sau prin utilizarea unui fluid calitativ necorespunzător (greutate specifică mare, gelația fluidului etc.).

Detectarea pierderii se face printr-una din metodele actuale: măsurarea vitezei de curgere în spațiul inelar, măsurarea variației de temperatură a fluidului din sondă sau prin tensori radioactivi.

Măsurile de ordin tehnic, de prevenire sau micșorare a cuantumului pierderilor de fluid în formațiunile respective, constau în formarea fluidului adecvat calitativ, căruia i se vor controla frecvent caracteristicile principale: vâscozitate, greutate specifică și gelație. La intrarea în formațiune se aplică un regim de foraj cu presiune axială redusă și debite reduse. Se evită manevrele rapide și pornirile bruște ale pompei. De la caz la caz se mai pot aplica și alte metode, ca: blocarea cu produse lamelare, fibroase și granulare introduse în fluidul de foraj, cimentarea, silicizarea etc.

3.7.3. ACCIDENTE DE FORAJ

Avariile cele mai frecvente, la forajul cu sondeze, se produc la garniturile de foraj (ruperi de prăjini sau smulgeri de filet datorită prinderii sau înțepenirii garniturii în gaura de sondă) sau prin scăpările de scule sau de obiecte mici în gaura de sondă.

Accidentele (avariile) pot fi provocate din următoarele cauze:

- utilizarea unor instalații de foraj, prăjini sau scule necorespunzătoare;
- aplicarea unui regim tehnologic greșit;
- lipsa de calificare a personalului, asociată cu lipsa unui control periodic al operațiilor;
- condiții geologice grele sau speciale.

Pentru rezolvarea accidentelor ce pot surveni în timpul forajului se procedează în felul următor:

Ruperile de prăjini se rezolvă prin introducerea dornului, a tutei sau a coruncii, după cum se prezintă capul-deșurubat sau rupt.

Dornurile se utilizează în două variante de montaj — cu pălărie și fără pălărie. Dornul are filet dreapta sau stînga tăiat pe toată suprafața conică. Pe toată lungimea filetată, dornul are tăiate canale în scopul degajării șpanului în timpul tăierii filetelui în prăjini.

Se utilizează trei tipuri de dornuri:

- tip W normale, pentru prinderea corpului de prăjină tip W (fig. XI.104, a și b; tabelul XI.39);
- tip W scurte, pentru prinderea [niplului de legătură la prăjini tip W (fig. XI.104, c; tabelul XI.40);
- tip Q, pentru prinderea corpului de prăjină tip Q (fig. XI.104, d; tabelul XI.41).

Tuta se folosește pentru prinderea prin înșurubare la exterior a prăjinilor, atunci cînd diametrul prăjinii rămasă în gaura de sondă este prea mic și cînd introducerea dornului nu este posibilă sau nu dă rezultate. Tutele se execută în două variante:

— tip TA și TB (fig. XI.105, a; tabelul XI.42), pentru prăjini cu diametrul de 35,5 mm, 42 mm și 50 mm;

— tip BW și NW (fig. XI.105, b; tabelul XI.43), pentru prăjini de foraj și nipluri seria W.

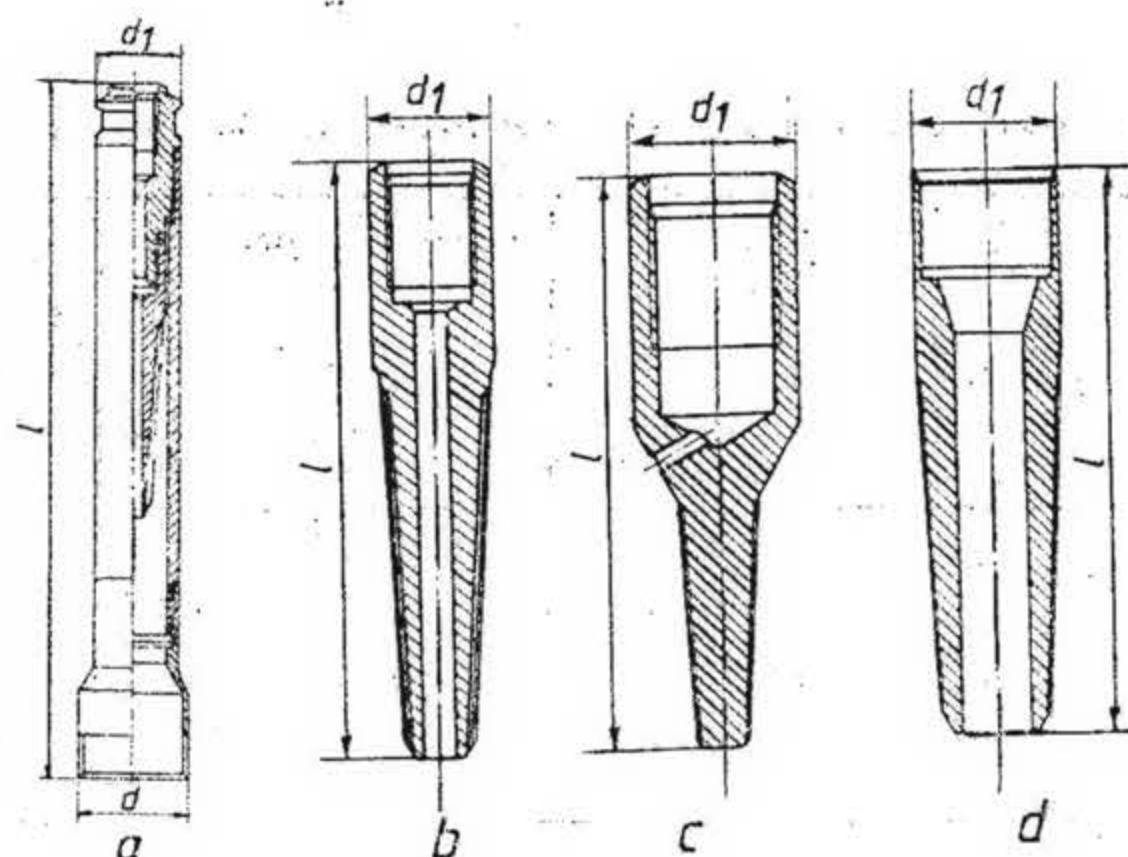


Fig. XI.104. Dornuri pentru instrumentat prăjini.

Corunca (fig. XI.106) este scula care se poate folosi la rezolvarea tuturor cazurilor de rupere sau de smulgere a garniturii de foraj. Ea prinde la exteriorul corpului prăjinilor, prin intermediul unor bacuri dințate. După sistemul de degajare a sculei prinse, coruncile sînt de două tipuri:

- coruncă normală la care degajarea se face prin rotire;
- coruncă cu declanșare, la care degajarea se face prin apăsarea coruncii pe corpul prins, după care se extrage.

Tabelul XI.39

Caracteristici tehnice ale dornului tip W normal

Tipul dornului	Diametrul exterior		Lungimea		Diametrul de prindere		Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
	al dornului	al pălăriei	dor-nului	totală	minim	maxim		
	d_1 [mm]	d [mm]	l [mm]		mm		kN	kg
EW	35	56	230	630	17,5	31,5	160	5
AW	43,7	71	240	488	25,4	40	230	7
BW	54	95	273	618	31	49	360	11
NW	66,7	116	305	711	41,2	62,2	430	12

Pentru aducerea garniturii care se instrumentează la centrul găurii de sondă se folosesc *cirlige pentru prins și îndreptat prăjina excentrică* (fig. XI.107).

După înșurubarea dornului, tutei sau coruncii se restabilește circulația și se execută tracțiunea pentru extragere. Aceasta constituie operația curentă în cazul garniturii libere.

Tabelul XI.40

Caracteristici tehnice ale dornului tip W scurt

Tipul dornului	Diametrul exterior		Lungimea		Diam. de prindere		Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
	al dornului	al pălăriei	dor-nului	total	minim	maxim		
	d_1 [mm]	d [mm]	l [mm]		mm		kN	kg
EW	35	56	167	408	7,9	16,8	30	3
AW	43,7	71	176	428	12,7	22	70	6
BW	54	95	190	439	15,8	26	100	8
NW	66,7	116	203	451	31,8	42	280	9

Prinderea garniturii în gaura de sondă. În cazul unei prinderi se exercită imediat o tracțiune cu troliul, pentru degajare.

O prindere poate surveni din cauza crotierei prinse sau în cele mai multe cazuri din cauza dărîmării, manșonării sau acumulării de detritus în talpă sau chiar în gaura-cheie. Degajarea din gaura-cheie se rezolvă nu prin tracțiune, ci din contră, prin lăsarea în jos a garniturii și schimbarea de poziție.

Tabelul XI.41

Caracteristici tehnice ale dornului tip Q

Tipul dornului	Diametrul exterior al dornului	Lungimea dornului	Diametrul de prindere		Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
			minim	maxim		
	d_1 [mm]	l [mm]	mm		kN	kg
BQ	57	265	39	57	170	3
NQ	72	280	53	72	250	4
HQ	92	290	71	92	300	7

În celelalte cazuri, prima măsură este recondiționarea fluidului cu menținerea neîntreruptă a circulației.

În caz de nereușită se va introduce țitei în circuit în pachete, care să se ridice în spatele garniturii pe 50–60 m sau se va face o circulație integrală cu țitei.

Simultan cu procedeele de circulație indicate mai sus, se va face și o tracțiune asupra garniturii, limitată la rezistența prăjinilor, după indicațiile drilometrului.

Obiecte mici scăpate în gaura de sondă. În asemenea cazuri trebuie procedat la o recunoaștere a poziției ce o ocupă obiectul la fund.

Tabelul XI.42

Caracteristici tehnice ale tutelor tip TA și TB

Simbolul tutei	Filetul racordului	d	D	l	L	Diametrul de prindere		Masa
						min.	max.	
		mm					mm	
TB 20-36	AW	46	—	240	—	22	29	2
TA ₁ 26-38	AW	56	—	390	—	28	32	4
TB 28-45	BW	57	—	270	—	30	38	3
TA ₁ 34-46	BW	64	—	400	—	36	40	6
TA ₁ 42-54	NW	72	100	410	530	44	48	7
			120		550			
			140		570			
TA ₁ 50-68	NW	90	100	520	630	52	62	10
			120		650			
			140		670			
TA ₂ 44-48	NW	108	—	550	—	46	81	20

Tabelul XI.43

Caracteristici tehnice ale tutelor tip BW și NW

Dimensiunea nominală a tutei, d	Filetul racordului	Lungimea tutei	Diametrul de prindere		Masa aproximativă
			min.	max.	
		mm	mm		kg
58,0	BW	213	38,9	54,3	1
72,5	NW	241	51,6	67	2
95,2	HW	275	72,2	90	3

În acest scop se introduce un model de ceară simplu cu ajutorul prăjinilor. Alături modelul poate fi executat dintr-un burlan căruia i se sudează în partea inferioară o placă de 15 mm grosime, spre a crea un compartiment în care se toarnă plumb menținut în interior prin sîrmă și cuie (fig. XI.108).

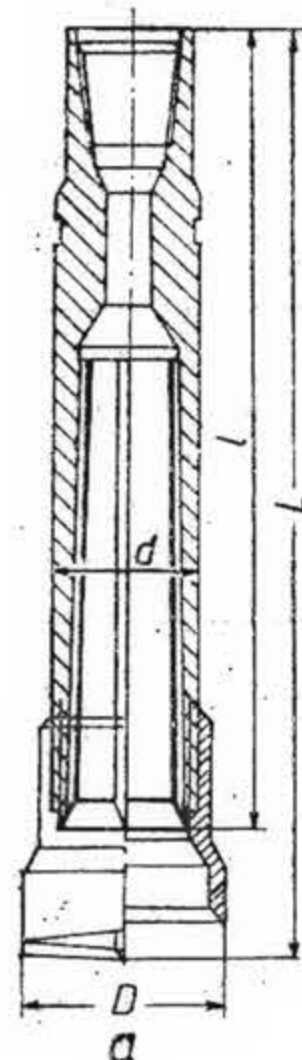


Fig. XI.105. Tute pentru prăjini de sondeze.

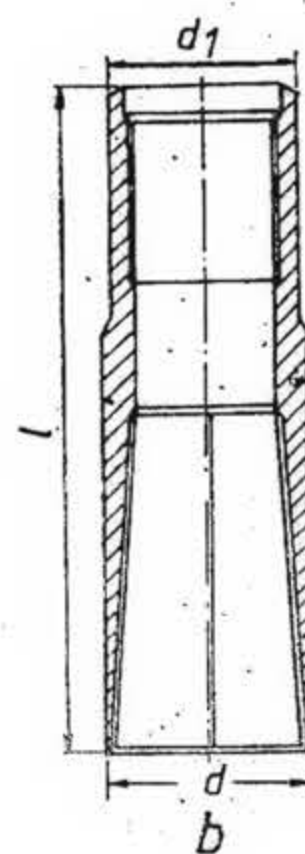
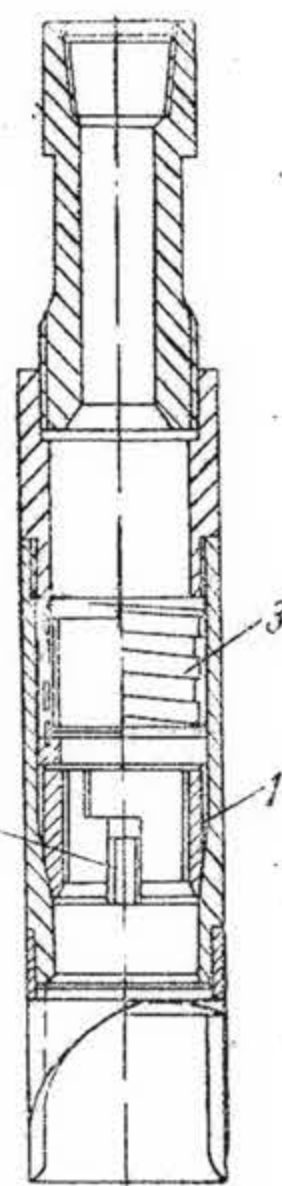
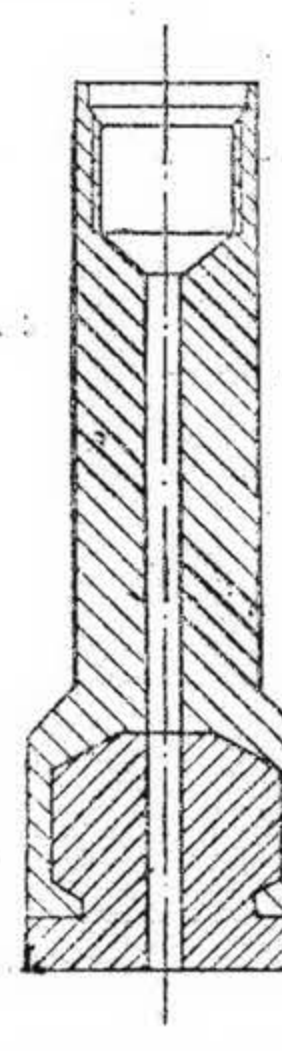
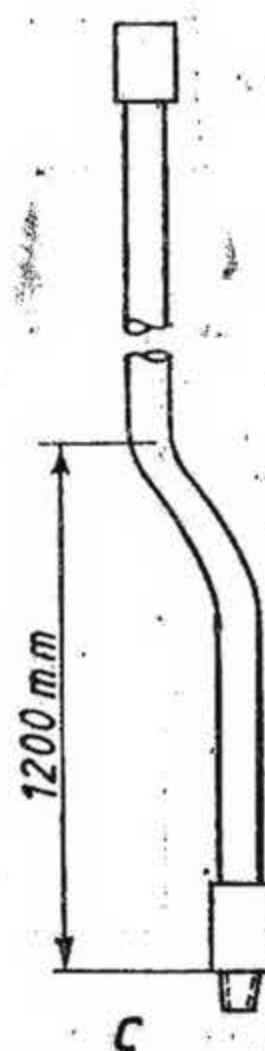
Fig. XI.106. Coruncă:
1 — bacuri; 2 — pene; 3 — arc spiral.Fig. XI.107. Cirlige pentru prins și îndreptat prăjina excentrică:
a — pentru pris; b — pentru îndreptat; c — prăjină excentrică.

Fig. XI.108. Model cu plumb.

Un alt mijloc este folosirea frezei magnetice.

În terenurile moi, obiectele scăpate în gaura de sondă (bacuri de clești, șuruburi, piulițe etc.) sunt împinse în perete de sapa dreaptă.

Sculele de instrumentație folosite pentru prinderea obiectelor căzute în gaura de sondă sunt: gura de lup (fig. XI.109, a), păianjenul (fig. XI.109, b), magnetul pentru instrumentație (fig. XI.109, c), frezele cilindrice (fig. XI.109, d).

Tabelul XI.44

Caracteristici tehnice ale frezelor de aşchiat obiecte metalice

Dimensiunea nominală (filetul de îmbinare)	EW	AW	BW	NW	NW	NW
Diametrul exterior al frezei [mm]	36,8	47,5	59	75	91,5	98,5
Tipul frezei	Cu dinți pe suprafața frontală		Cu dinți pe suprafețele frontală și laterală			
Lungimea frezei [mm]	150	165	220	270	285	300
Masa netă informativă [kg]	0,900	1,280	2,940	5,240	6,470	8,430

Frezele cilindrice sunt de trei tipuri:

— freze tip W, pentru aşchiat obiecte metalice (tabelul XI.44) prevăzute pe suprafața frontală și laterală cu dinți din aliaj dur (fig. XI.109, d₁) sau cu dinți din corp (fig. 109, d₂);

— freze pentru aşchiat prăjini de foraj W (fig. XI.109, d₃) și Q (fig. XI.109, d₄), cu dimensiunile din tabelul XI.45;

Tabelul XI.45

Caracteristici tehnice ale frezelor pentru aşchiat prăjini de foraj

Dimensiunea nominală	BW	NW	BQ	NQ
Filetul de îmbinare	BW	Sz 50	BQ	NQ
Tipul frezei	Cu dinți pe suprafețele frontală și laterală		Cu dinți pe suprafața frontală	
Lungimea frezei [mm]	370	405	130	150
Masa netă informativă [kg]	5,140	8,550	0,470	2,930

— freze cu premergător pentru aşchiat tuburi carotiere WG (fig. XI.109, d₅, tabelul XI.46), prevăzute cu dinți sub formă de lame din oțel rapid pe suprafața frontală și laterală.

Pentru obiecte mari scăpate se recurge uneori la devierea găurii.

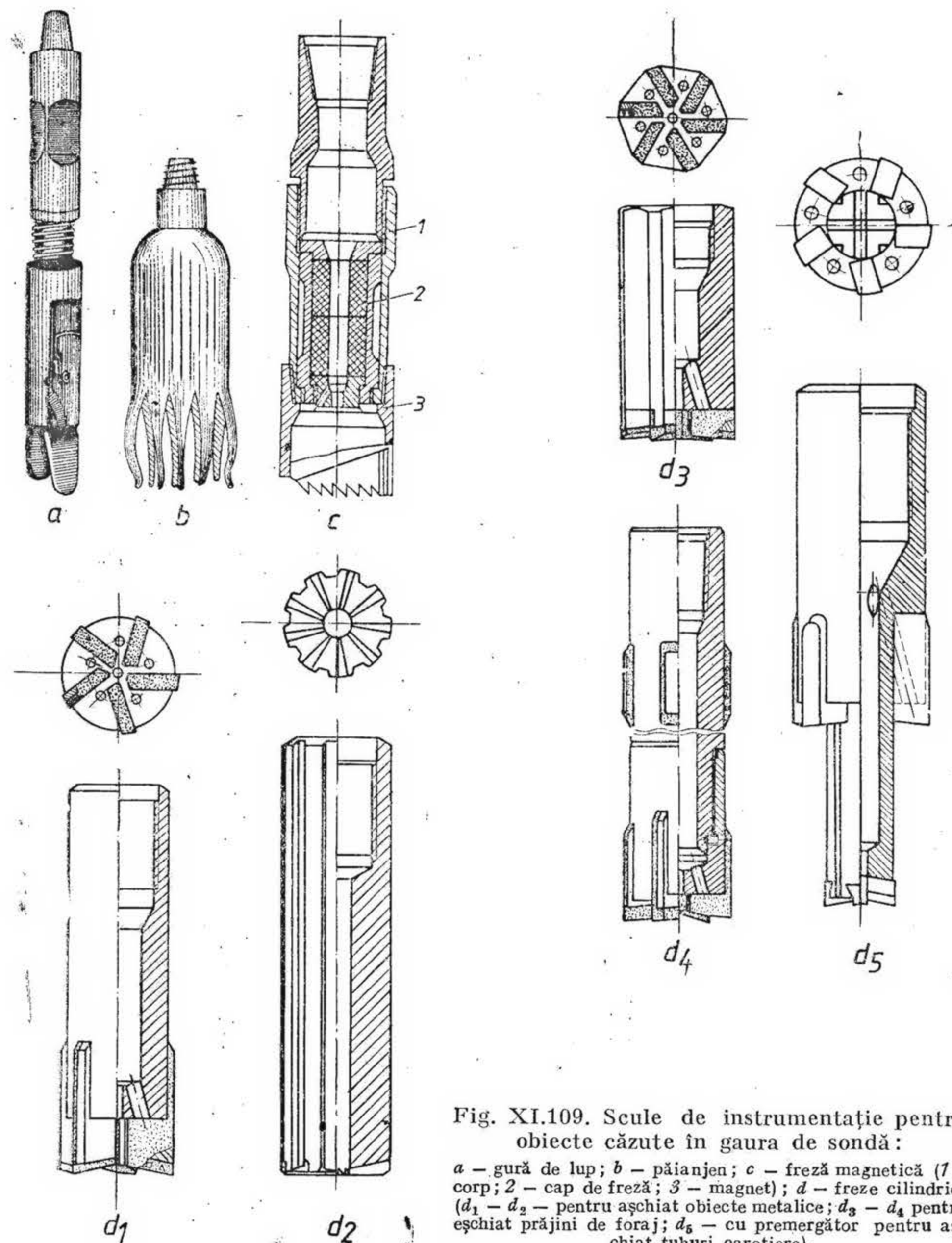


Fig. XI.109. Sucle de instrumentație pentru obiecte căzute în gaura de sondă:

a — gură de lup; *b* — păianjen; *c* — freză magnetică (1 — corp; 2 — cap de freză; 3 — magnet); *d* — freze cilindrice (*d*₁ — *d*₂ — pentru aşchiat obiecte metalice; *d*₃ — *d*₄ pentru eşchiat prăjini de foraj; *d*₅ — cu premergător pentru aşchiat tuburi carotiere).

Cînd obiectul este însă mic şi dintr-un material nu prea dur sau cînd terenul este foarte tare, el se poate ataca cu o freză masivă, în scopul de a-l transforma în aşchii. Frezele pot fi cu acţiune frontală, acţiune exterioară sau interioară obiectului de frezat.

Tabelul XI.46

Caracteristici tehnice ale frezelor cu premergător

Simbolul tubului de carotieră de frezat	AWG	BWG	NWG	HWG
Diametrul exterior al frezei [mm]	47,5	59	75	98,5
Diametrul exterior al premergătorului [mm]	24	35	48	70
Filetul de îmbinare al frezei	AW	BW	Sz 50	2 3/8
Lungimea frezei [mm]	180	180	200	220
Masa frezei [kg]	0,866	1,078	1,900	4,055

Accidente de burlane. În cazul scăpării de burlane în gaura de sondă sau al smulgerii lor din filet, se introduce un model care atată atît starea mufei cît şi adîncimea la care se află. Dacă mufa este bună se va proceda la întregirea coloanei prin introducerea cu ajutorul prăjinilor a unui cep cu filet identic. Dacă partea de jos este uşor ovalizată se va proceda la îndreptarea ei cu ajutorul bîrnelor progresive.

Cabluri rămase în gaura de sondă. Se întîmplă uneori ca instrumentele de măsurat devierea sau cu care se face carotajul electric sau alte operaţii speciale să se înţepenească în gaura de sondă. În cazul cînd cablul s-a rupt, rămînînd îngrămădit în gaura sondei, se va opera cu *cîrligul* (fig. XI.110, *a*) sau cu *ghimparul* (fig. XI.110, *b*). Cîrligul are un cioc de prins la partea de jos, iar ghimparul mai multe ciocuri laterale.

În cazul înţepenirii aparatului de măsură introdus cu cablu, degajarea cablului se face prin tăiere cu ajutorul unui *cuţit* (fig. XI.110, *c*), imediat deasupra aparatului înţepenit. După tăierea şi extragerea cablului se instrumentează pentru extragerea aparatului rămas în gaura de sondă.

Procedeele de lucru şi suclele folosite aparţin unui domeniu foarte variat, în care practica, ingeniozitatea şi perseverenţa trebuie împletite pînă la rezolvarea cazului.

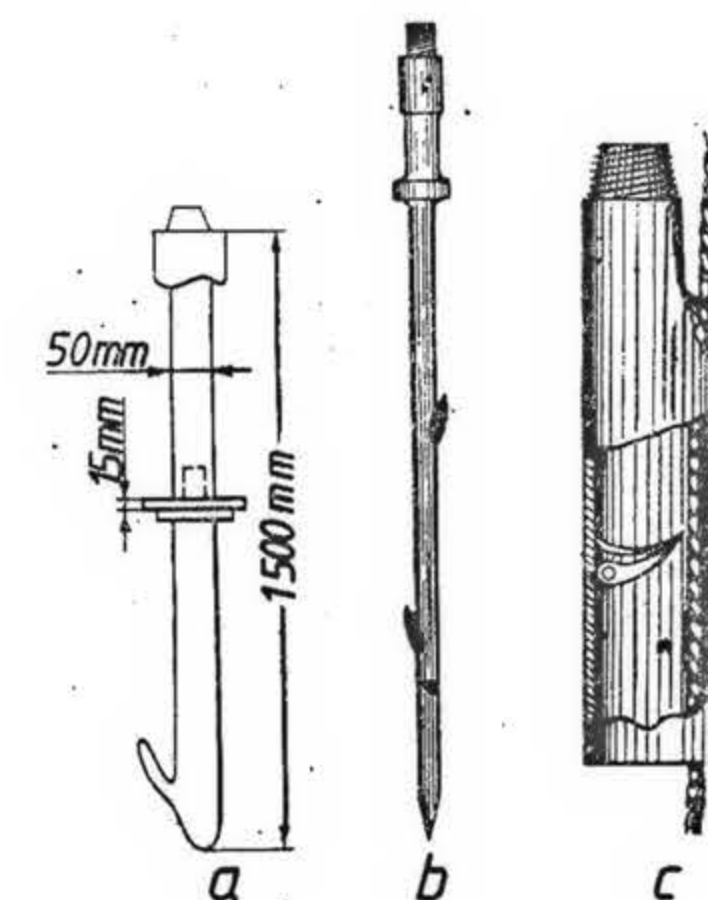


Fig. XI.110. Sucle pentru rezolvarea accidentelor tehnice provocate de ruperea cablului.

3.8. INSTALAȚII DE FORAJ — SONDEZE MECANICE

Sondezele mecanice sînt construite pentru adîncimi care variază de la 50 pînă la 2 000 m.

O instalație de foraj cu sondeze mecanice constă din următoarele părți:

- turla, trepiedul sau mastul cu geamblacul și macaraua;
- troliul de manevră cu angrenajele respective;
- dispozitivul de rotire;
- dispozitivul de avansare;
- pompa de noroi cu anexe sale;
- instalația de forță.

Caracteristice pentru sondezele mecanice sînt dispozitivele de rotire și de avansare, care se deosebesc de mecanismele cunoscute la granițele de mare adîncime.

După modul de acționare a dispozitivului de avansare, sondezele mecanice rotative se clasifică în:

— sondeze cu manevrarea dispozitivului de avansare și de rotire cu aer comprimat;

— sondeze cu manevrarea sistemului de avansare hidraulic.

După felul transportului și montajului, sondezele se clasifică în:

- portabile, care sînt ușoare și se pot transporta ușor în subansambluri;
- staționare sau fixe, care necesită fundații la fiecare locație;
- semitransportabile, la care unele subansambluri se transportă, altele sînt fixe pe sănii care se tractează;
- transportabile, la care întreaga instalație este fixată pe o platformă prevăzută cu roți, șenile, sănii;
- autotransportabile sau autopurtate, care au toate subansamblurile montate pe un singur mijloc de transport — camion, tractor etc.

După adîncimea de forare și după capacitatea de susținere și manevrare a echipamentului de manevră, sondezele se clasifică în:

- foarte ușoare, cu adîncime de forare pînă la circa 50 m și capacitate de susținere de pînă la 5 kN;
- ușoare, pînă la 200 m adîncime și circa 20 kN capacitate de susținere;
- mijlocii, pînă la 600 m adîncime și circa 50 kN capacitate de susținere;
- semigrele, pînă la 1 200 m adîncime și circa 125 kN capacitate de susținere;
- grele, pînă la 2 000 m adîncime și circa 200 kN capacitate de susținere.

Sondeze cu manevrare cu aer comprimat a dispozitivului de avansare și rotire.

Aceste tipuri de sondeze se folosesc în lucrările subterane unde există instalații de producere a energiei sub forma aerului comprimat.

Ele sînt folosite atît în explorare, pentru cercetarea zonelor mineralizate cuprinse între diferite lucrări miniere, cît și în exploatare, pentru executarea suitorilor, sau la săparea lucrărilor miniere orizontale și verticale.

După adîncimea pînă la care pot să foreze și după modul în care se fixează instalația mecanică de foraj, se cunosc sondeze acționate cu aer comprimat, folosind o singură coloană de fixare și sondeze cu două coloane de fixare. Cu primele se pot foră găuri de sondă pînă la adîncimea de 100 m, iar cu celelalte pînă la 200 m.

Sondeze cu manevrare hidraulică a dispozitivului de avansare. Sondezele de acest tip prezintă o perfecționare a instalațiilor de foraj, atît sub aspectul construcției cît și al modului de funcționare.

Din tipul de sondeze cu avansare hidraulică fac parte sondezele de construcție romînească seria SG, sondezele de construcție sovietică ZIF, precum și numeroase alte instalații cu construcție străină.

Mecanismul de avansare cu piston cu unul sau doi cilindri, acționat hidraulic, este aplicat la majoritatea sondezilor de la adîncimea de 200 m pînă peste 2 000 m.

Schema generală a sistemului de avansare hidraulică este redată în fig. XI.111.

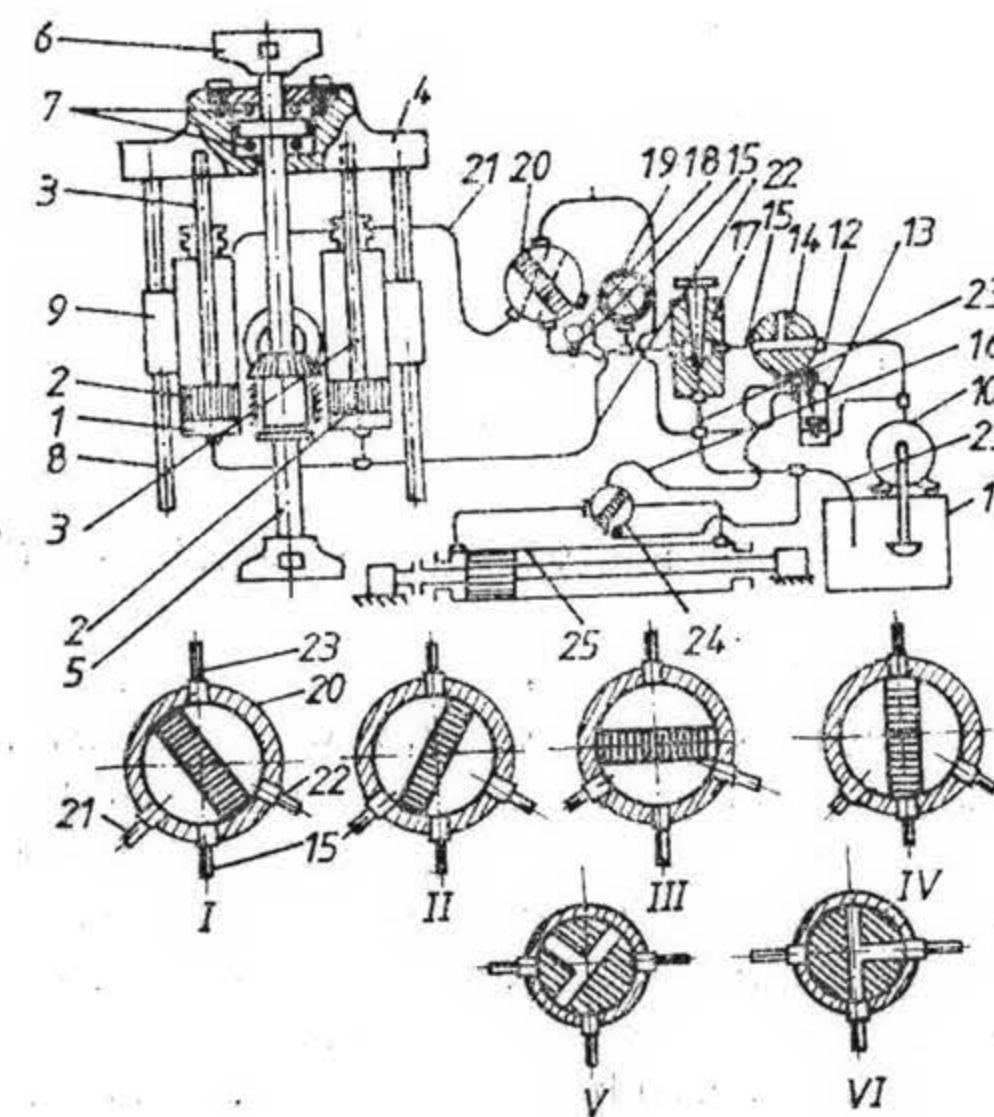


Fig. XI.111. Schema generală a sistemului de avansare hidraulică.

Sistemul de avansare hidraulic constă în doi cilindri 1 cu pistoanele 2 și tije 3. În partea superioară tije sînt prinse în traversa 4, care este solidarizată cu capul rotativ 5 cu mandrinele 6, fixat la rîndul său pe rulmenții de presiune 7. De corpul capului rotativ sînt fixate două bușe de bronz 9, prin care trec tijele de ghidaj 8 legate de traversă și care au rolul de a elimina vibrațiile și de a da o soliditate mai mare construcției. Tije sînt gradate în centimetri, astfel că se poate observa în tot momentul viteza mecanică de avansare.

Mecanismul de avansare este prevăzut cu o pompă de ulei 10, care împinge uleiul din rezervorul 11 în conductele 12. Pe conductă este fixată o supapă de siguranță 13 și o cană 14, prevăzută cu trei căi. Uleiul trece fie prin cilindrii de avansare 15, fie spre cilindrul 16 de deplasare pe orizontală a granicului. Presiunea uleiului din cilindri este reglată prin ventilul 17. Pentru controlul presiunii, sistemul hidraulic este prevăzut cu manometrul 18, iar pentru controlul apăsării pe talpă, sistemul are un indicator de greutate 19. Prin distribuitorul 20 se face legătura circuitului hidraulic cu partea inferioară sau superioară a cilindrilor pe conductele 21 și 22. Evacuarea uleiului din cilindri se face prin conducta de scurgere 23.

Pentru deplasarea pe orizontală a granicului în scopul eliberării găurii de sondă, instalația este prevăzută cu un cilindru hidraulic cu piston așezat sub granic.

3.8.1. INSTALAȚII PENTRU FORAJ DE EXPLORARE FABRICATE ÎN ROMÂNIA

Instalațiile de foraj de explorare fabricate în România, sub denumirea de *instalații de foraj geologic*, se execută în următoarele tipuri:

- instalație de foraj SG-650 M;
- instalație de foraj SG-150;
- instalație de foraj FG-8;
- instalație de foraj FG-5;
- instalație de foraj FG-1,2 M;
- instalație de foraj FG-0,63 D.

Fabricarea acestor instalații se face de către uzinele constructoare de mașini Tîrgoviște, Giurgiu și Baia Mare.

3.8.1.1. Instalația de foraj SG-650 M

După energia de acționare instalația se execută în trei variante:

Instalația de foraj SG-650 M antrenată de un motor Diesel (varianta I). Instalația de foraj se compune din agregatul de foraj, grupul motor Diesel, grupul de pompare, instalația de noroi, mastul cu substructura, echipamentul de manevră (geamblac, macara, cârlig, cap hidraulic) și baracă (fig. XI.112).

Agregatul de foraj conține o șaibă de antrenare prin curele trapezoidale, ambreiaj, cutie de viteze, trolu și cap rotativ prevăzut cu mandrină hidraulică și manuală. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prărinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic. Comenzile și apajatura sînt centralizate la un pupitru de comandă.

Grupul motor Diesel este dotat cu ambreiaj cu fricțiune și cuplaj hidraulic.

Grupul de pompare este format dintr-o cutie de viteze, pompa de noroi și manifoldul de refulare.

Agregatul de foraj se sprijină pe o substructură metalică împreună cu mastul rabatabil. Operația de rabatare se execută cu ajutorul agregatului de foraj.

Instalația de foraj SG-650 M antrenată de motoare electrice (varianta II).

Această variantă este asemănătoare variantei I, cu deosebirea că agregatul de foraj și grupul de pompare sînt antrenate separat prin motoare electrice (fig. XI.113).

Instalația de foraj geologie SG-650 M cu antrenare independentă pentru grupul de foraj și grupul de pompare (varianta III). Instalația (fig. XI.114) se compune din:

- grupul de foraj alcătuit din agregatul de foraj al instalației SG-650 M antrenat de către un motor Diesel și montat pe două sănii de transport;
- grupul de pompare alcătuit din pompa 2PN-35, cutie de viteză, motor Diesel, montat pe sanie;
- mast în formă de trepied special amenajat pentru foraje înclinate.

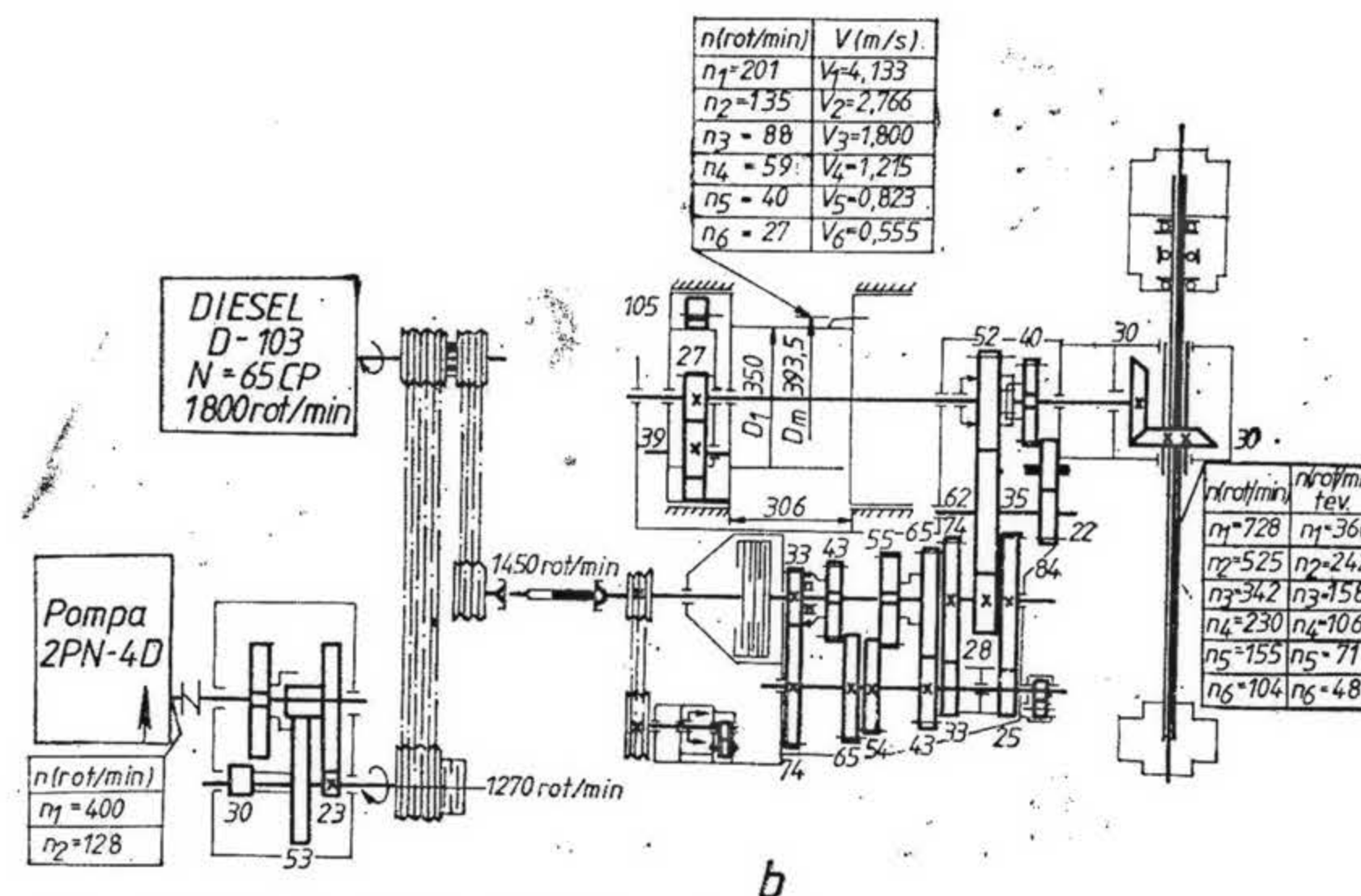
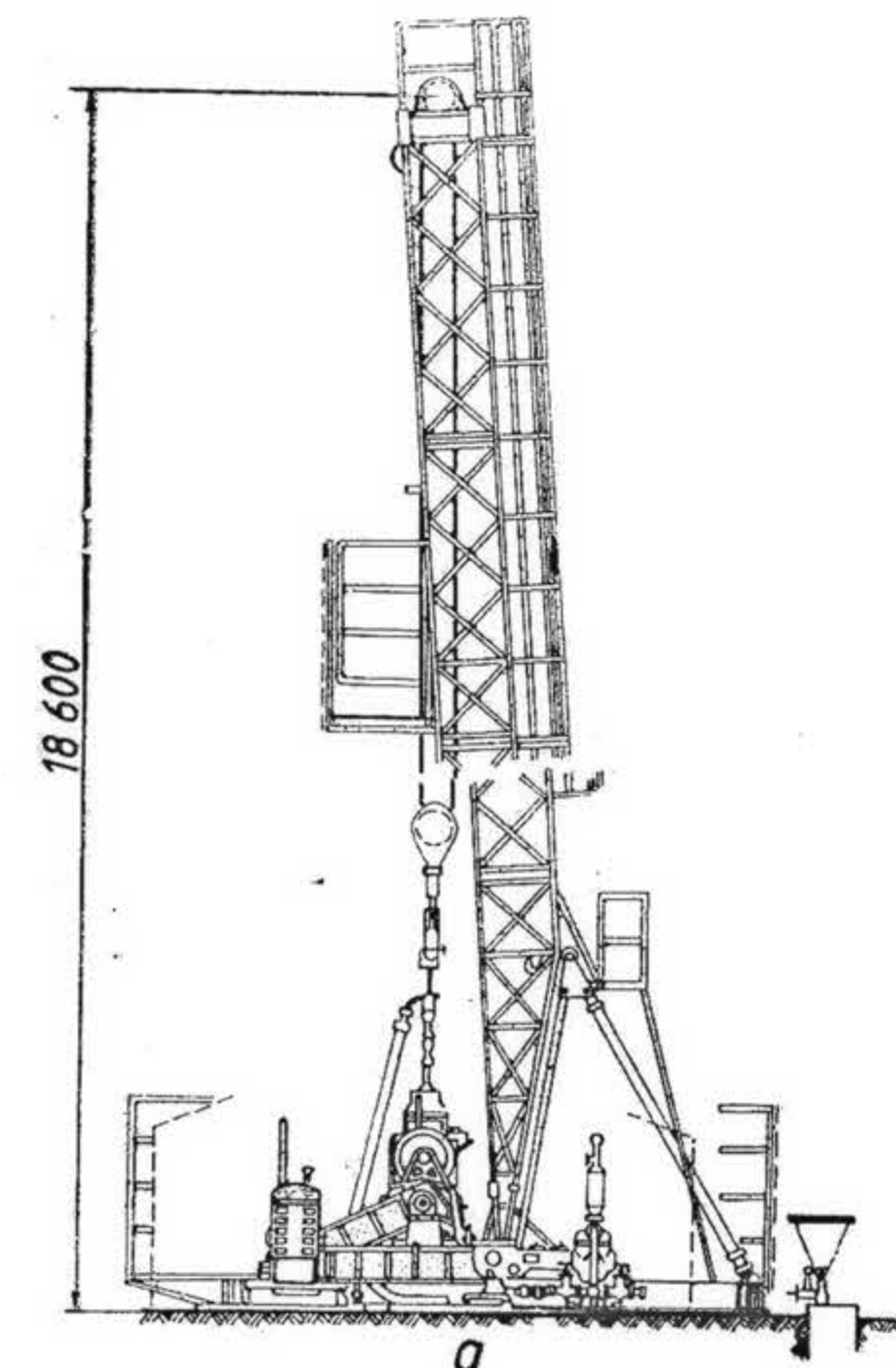


Fig. XI.112. Instalație SG-650 acționată cu motor Diesel (varianta I):
a — vedere de ansamblu; b — schema cinematică.

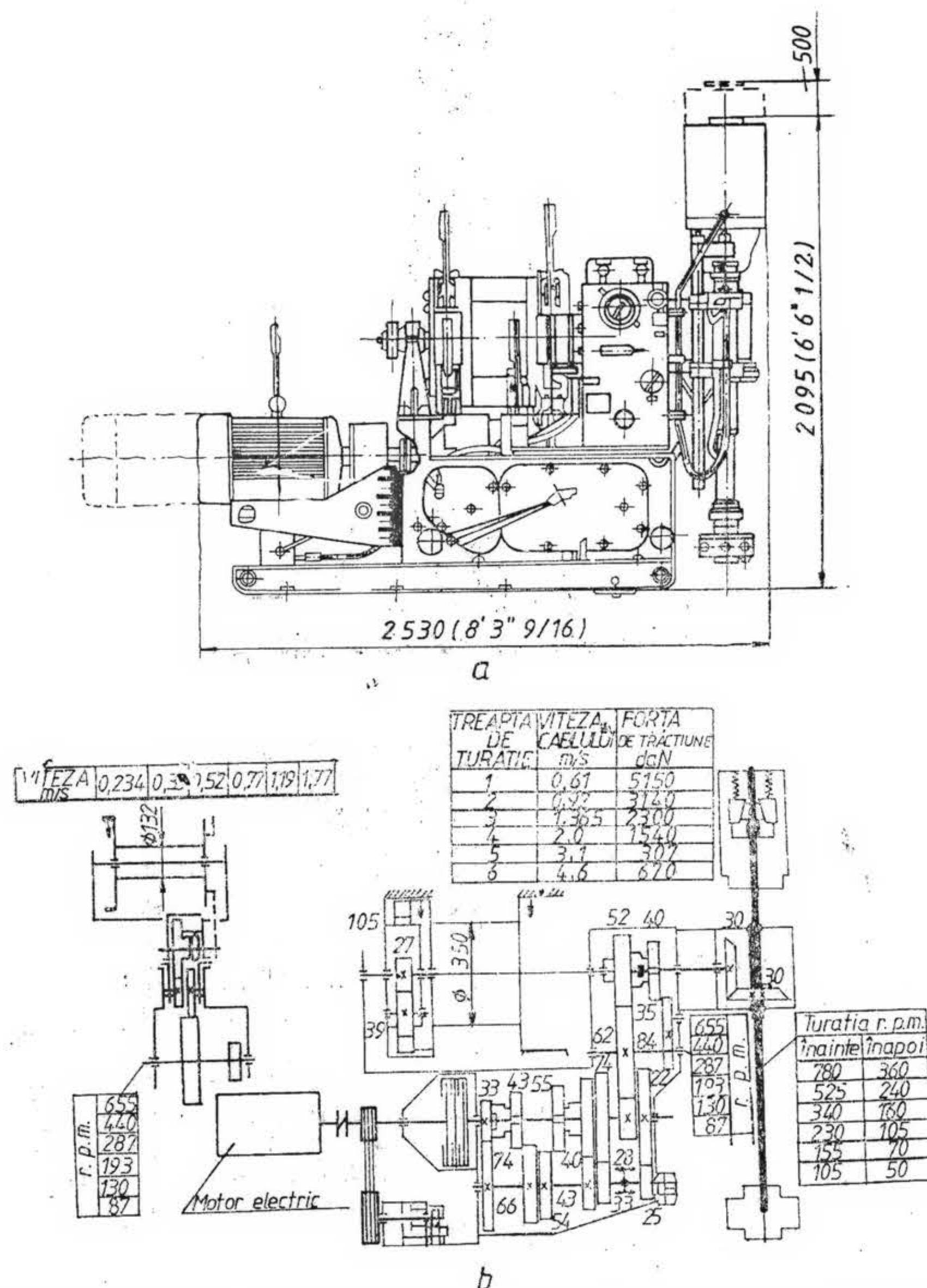


Fig. XI.113. Instalația de foraj SG-650 M antrenată de motoare electrice (varianta II):

a — agregatul de foraj; b — schema cinematică.

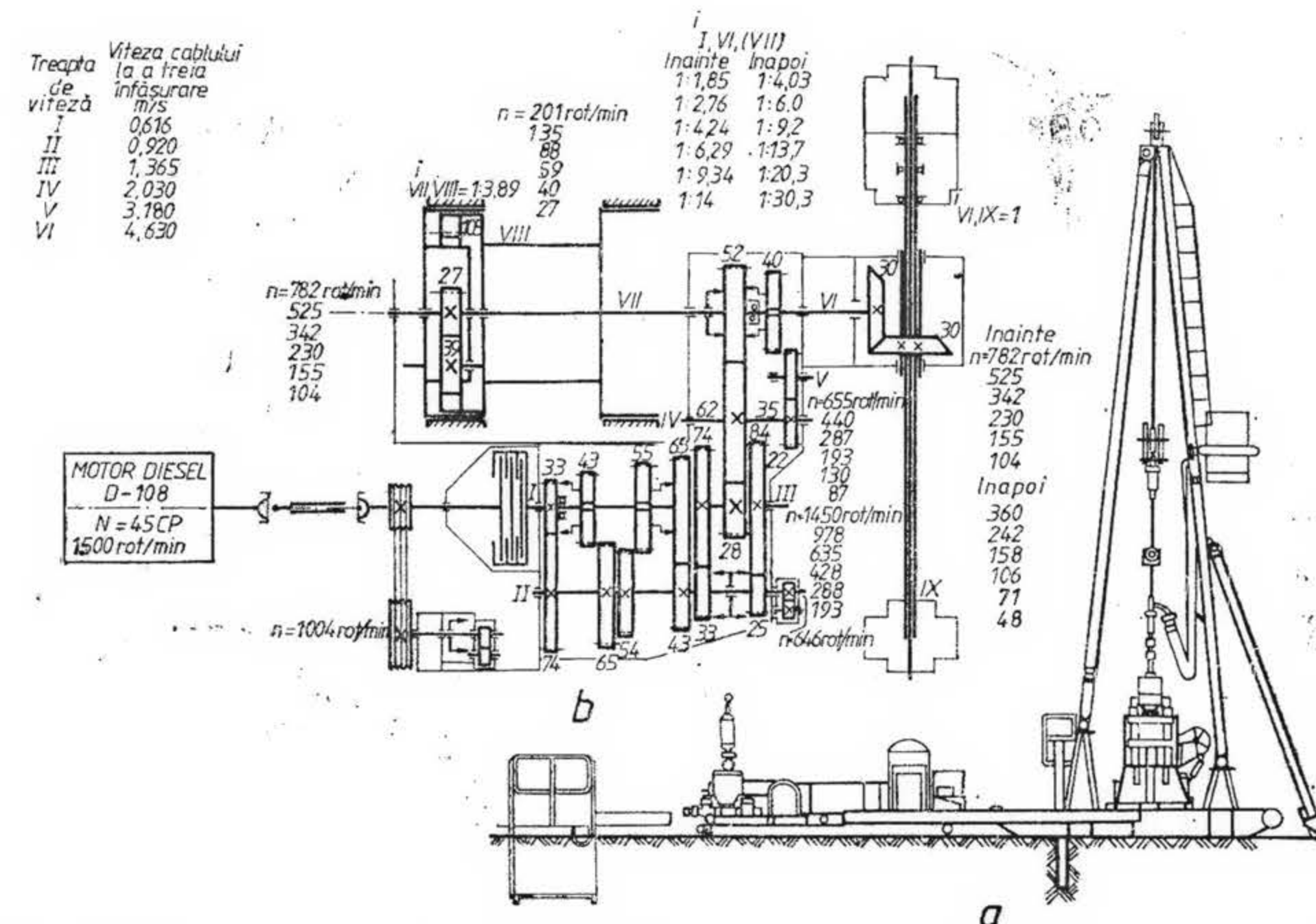


Fig. XI.114. Instalația de foraj SG-650 M cu antrenare independentă pentru grupul de foraj și grupul de pompare (varianta III):

a — vedere de ansamblu; b — schemă cinematică.

Caracteristici tehnice

Variante	I	II	III
Adâncimea de foraj, cu prăjini:			
BW 53,97 mm; $q = 6,85$ kg/m	1200 m		1000 m
NW 66 mm; $q = 8,9$ kg/m	850 m		790 m
Diametrul găurii forate			
— maxim (inițial)	214 mm		214 mm
— minim (final)	59 mm		59 mm
Sarcina normală la cârlig	12 500 daN		pe două fire 6 500 daN
Sarcina maximă la cârlig	20 000 daN		10 000 daN
Cursa de retractare a agregatului de foraj	500 mm		500 mm
Puterea motorului de antrenare a agregatului	65 CP; 30 kW		65 CP
Puterea motorului de antrenare a pompei de noroi	65 CP; 30 kW		65 CP
Numărul treptelor de viteză la troliu	6 + 6 revers		6 + 6 revers

Variante	I	II	III
Forța de tracțiune max. în cablu la toba trolului (cablu Ø 16 mm — 5/8 in)	5 000 daN		5 000 daN
Viteza cablului la toba trolului	0,55...4,13 m/s		0,55...4,13 m/s
Nr. treptelor de viteză la capul rotativ	6 + 6 revers		6 + 6 revers
Turația la capul rotativ	dr. 104...782 rot/ min st. 48...360 rot/ min		dr. 104...782 rot/ min st. 48...360 rot/ min
Forța max. de ridicare hidraulică	10 000 daN		10 000 daN
Forța max. de apăsare hidraulică	8 500 daN		8 500 daN
Cursa fusului principal	500 mm		500 mm
Diametrul de trecere prin fus	68 mm		68 mm
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°		0...360°
Momentul de strângere la mandrine	360 daNm		360 daNm
Înălțimea geamblacului în poziție de lucru	18,6 m		10,15 m
Tipul pompei de noroi	2 PN-40		2 PN-40
Numărul habelor de noroi	4		4
Capacitatea unei habe	2 350 l		2 350 l
Denisipator cu două cicloane	Ø 100 mm		—
Unghiul pentru foraj înclinat cu mast	90° la 75°		90°—45°
Masa totală a instalației, kg	17 000; 16 080		14 140
Masa agregatului de foraj, kg	2 475; 2 619		3 543
Masa grupului de pompare, kg	1 033; 1 380		2 565

3.8.1.2. Instalația de foraj SG-150

După destinație, energia de acționare și gradul de mobilitate instalația se execută în trei variante:

Instalația de foraj SG-150 autotransportabilă antrenată de la motorul moto (varianta I). Ansamblul format din agregatul de foraj acționat hidrostatic, circuit hidrostatic, transmisii, pompa de noroi, motor și echipamentul de manevră (geamblac, cablu de manevră, suvei și cap hidraulic) se montează pe un autovehicul utilitar TV12, cu două diferențiale (fig. XI.115).

Agregatul de foraj este retractabil și se compune din motor hidrostatic, multiplicator, cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de distribuție, trolu, cap rotativ prevăzut cu mandrină hidraulică și mandrină mecanică, circuit de ungere.

Comenzile și aparatura sînt centralizate la un pupitr de comandă.

Transmisia se compune din priză de putere flanșată pe cutia de viteze a autovehiculului, arbore cardanic și cutie de distribuție.

Cutia de distribuție transmite fluxul de putere la o pompă hidrostatică ce acționează hidrostatic motorul agregatului de foraj și la o roată de curea care antrenează, prin 3 curele trapezoidale, pompa de noroi 3PN-10.

Șasiul autovehiculului este special amenajat spre a permite montarea agregatului de foraj, a pompei de noroi și a rezervorului de ulei, a mastului și anexelor.

Mastul se rabate hidraulic, în timpul transportului se așază orizontal pe un suport prevăzut pe cabina auto.

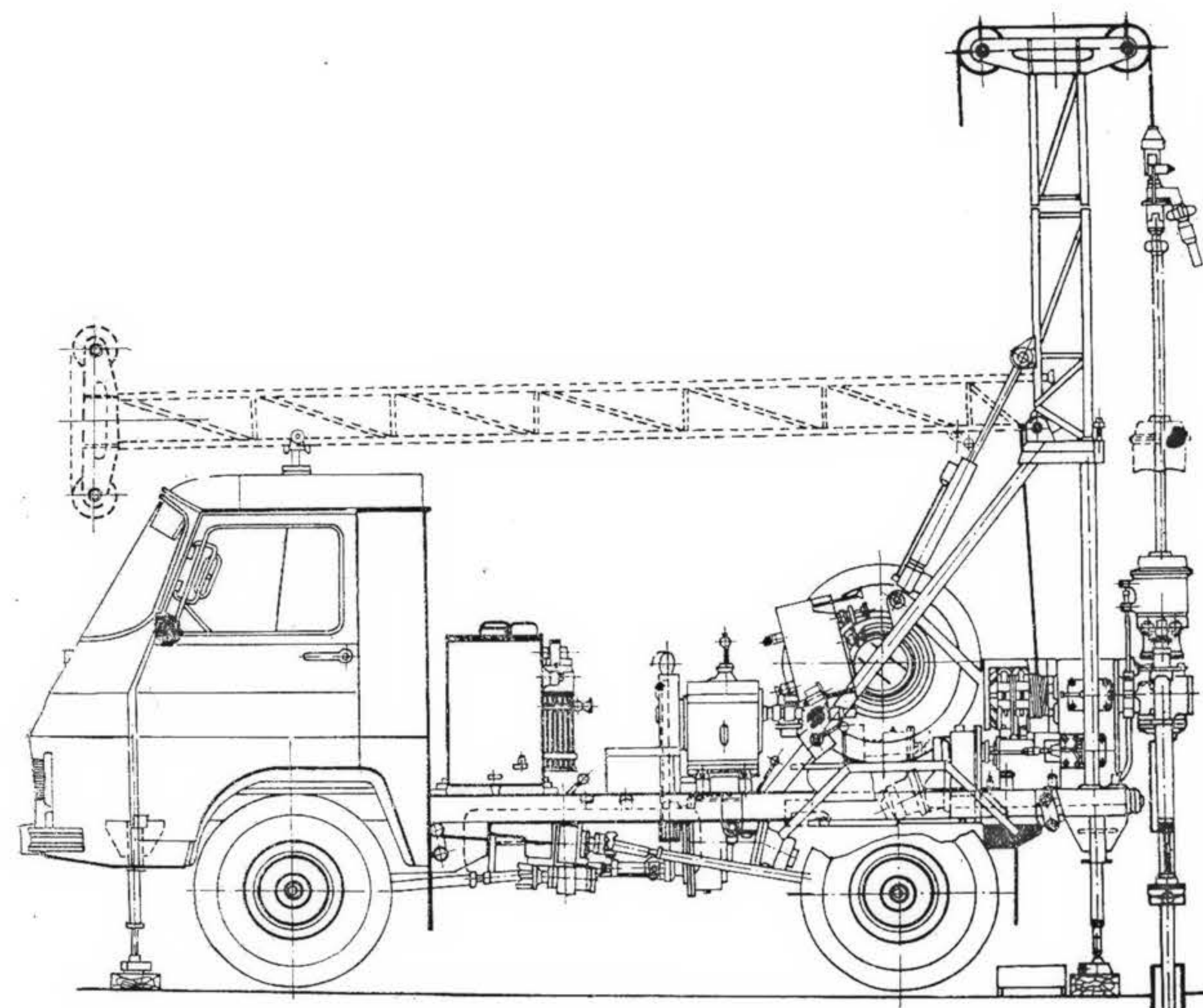


Fig. XI.115. Instalația de foraj SG-150 autotransportabilă (varianta I).

Instalația de foraj SG-150 staționară (pe sanie) cu mast, antrenată de motoare electrice (varianta II și IV). La această variantă agregatul de foraj — același ca la varianta I — este asamblat pe o sanie și antrenat de un motor electric.

Pompa de noroi, antrenată de un motor electric prin transmisii cu curele trapezoidale, constituie un grup electropompă montat deasupra habe de noroi.

De sania agregatului de foraj se prind suportii pe care este articulat mastul.

Instalația de foraj SG-150 staționară (pe sanie) antrenată de motoare electrice, destinată lucrărilor în galerii subterane (varianta III). Această variantă este la fel cu varianta II, cu diferența că nu are mast. Geamblacul se fixează pe două grinzi încastate în pereții galeriei subterane.

Caracteristici tehnice

Varianta	I	II	III	IV
Adâncimea de foraj, cu prăjini:				
— EW — 34,92 mm; $q = 4,54$ kg/m			250 m	
— AW — 44,45 mm; $q = 5,3$ kg/m			180 m	
Diametrul găurii forate				
— maxim (inițial)			100 mm	
— minim (final)			38 mm	
Sarcina normală la cirlig			1 100 daN	
Cursa de retractare a agregatului de foraj			275 mm	
Puterea motorului de antrenare a agregatului	13 kW/3 000 rot/min		7,5 kW/1 500 rot/min	
Puterea motorului de antrenare a pompei		5,5 kW		
Numărul treptelor de viteză la trolu		3		
Forța de tracțiune maximă în cablu la toba trolului (cablu Ø 9 mm)		1 150 daN		
Viteza cablului la toba trolului	0,6...2,5 m/s		0,3—1,25 m/s	
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ			6	
Turația la capul rotativ	240...1 437 rot/min		125—1 250 rot/min	
Forța maximă de ridicare hidraulică			3 000 daN	
Forța maximă de apăsare hidraulică			2 440 daN	
Cursa fusului principal			550 mm	
Diametrul de trecere prin fus			53 mm	
Unghiul de rotire al capului rotativ			0° la 360°	
Momentul de strângere la mandrine			33 daNm	
Înălțimea geamblacului în poziția de lucru			6,1 m	
Tipul pompei de noroi			3 PN—10	
Numărul habelor de noroi			1	
Capacitatea unei habe			700 l	
Denisipator			Ø 70 mm	
Unghiul pentru foraj înclinat cu mast			numai vertical	
			90° la 70°	
Masa totală a instalației	2 893 kg;		2 030 kg; 2451 kg	
Masa grupului de foraj inclusiv mast	490 kg;	760 kg;	554 kg;	
Masa grupului de pompare	115 kg;		214 kg; 214 kg	

3.8.1.3. Instalația de foraj FG-8

Instalația de foraj geologic FG-8 se execută în următoarele variante:

Instalația de foraj geologic FG-8 — varianta termică staționară (varianta I). Instalația de foraj se compune din: grup de foraj, grup de pompare, instalație de noroi, mast cu substructură, echipament de manevră (geamblac, manșon conic, sanie, elevator, cap hidraulic) și baracă.

Grupul de foraj se compune din agregat de foraj și grup motor Diesel montate pe o sanie (fig. XI.116).

Motorul de acționare împreună cu agregatul de foraj formează o construcție unitară, retractarea din poziția de foraj în poziția de manevră — eliberarea gurei sondei — făcându-se împreună.

Agregatul de foraj se compune din următoarele subansamble: cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de viteze, cutie de distribuție, toba de manevră și sistem de frinare, câte două capete rotative, mandrine hidraulice și mandrine mecanice, cu diametrul

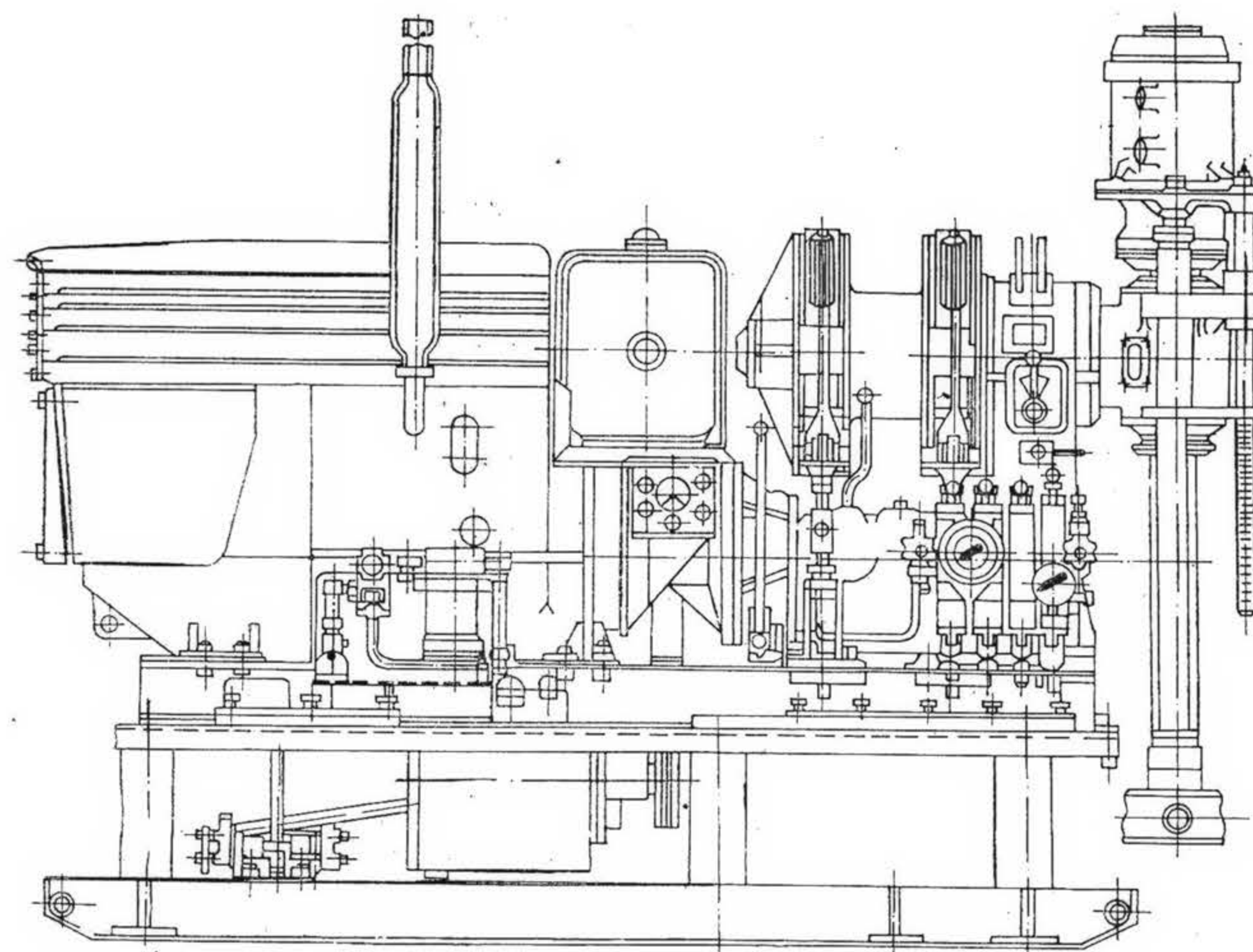


Fig. XI.116. Grupul de foraj al instalației de foraj FG-8, acționat cu motor termic.

interior al fusului de 76 mm și de 92 mm și toba carotieră introductibilă-opțional. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prăjinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic, cu ajutorul unei instalații hidrostatice prevăzută cu o pompă cu pistoane axiale cu debit variabil și o pompă manuală. Pompa cu debit variabil este dotată cu un regulator de presiune care adaptează automat debitul pompei la regimul de lucru, funcționare cu consum minim de putere pentru carotaj cu apăsare hidraulică.

Grupul motor Diesel conține instalația de răcire, instalația de alimentare, rezervor de motorină, sistemul de comandă, instalația electrică și pupitrul de comandă, asamblate într-o unitate distinctă.

Grupul de pompare este montat separat pe o sanie și se compune dintr-un motor Diesel, ambreiaj, cutie de viteze și pompă de noroi.

Instalația de foraj geologic FG-8 — varianta electrică staționară pe sanie (varianta II). Această variantă este identică cu varianta I, cu deosebirea că grupurile motor Diesel sînt înlocuite cu cîte un motor electric.

Caracteristici tehnice

	I	II
Adîncimea convențională de foraj cu prăjini:		
50 RS — 50 mm	500 m	
$q = 6,7$ kg/m		
SzAW — 44,45 mm	935 m	
$q = 5,3$ kg/m		
SzBW — 53,97 mm	800 m	
$q = 6,85$ kg/m		
SzNW — 66,68 mm	600 m	
$q = 8,9$ kg/m		
BQ — 55,6 mm	800 m	
$q = 5,9$ kg/m		
NQ — 69,9 mm	600 m	
$q = 7,6$ kg/m		
Diametrul găurii forate:		
inițial	151 mm	
final		
— coroane cu diamante	59 mm	
— coroane cu carburi metalice	99 mm	
Capacitatea de ridicare la cîrlig (sistem de manevră pe 2 fire):		
— nominal	5 000 daN	
— maxim	8 000 daN	
Diametru/lungime cablu manevră	16 mm/50 m	
Puterea/turația motorului de antrenare a agregatului	55 CP/2 400 rot/min; 30 kW/1 460 rot/min	
Puterea/turația motorului de antrenare a pompei de noroi	55 CP/2 400 rot/min; 45 kW/1 465 rot/min	
Cursa de retractare a agregatului de foraj	400 mm	
Numărul treptelor de viteză la trolu	5	
Vitezele de ridicare la cîrlig	0,39...2,62 m/s	
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ	10 + 2 rev.	
Turațiile la capul rotativ Ø 76:		
— gama încet	120; 210; 330; 550; 785 rot/min	
— gama repede	245; 420; 660; 1 100; 1 570 rot/min	
— revers	110; 220 rot/min	

	I	II
— gama încet	100; 180; 280; 465; 665 rot/min	
— gama repede	200; 360; 560; 930; 1 330 rot/min	
— revers	95; 190 rot/min	
Forța de ridicare hidraulică	10 000 daN	
Forța de apăsare hidraulică	7 500 daN	
Viteza de ridicare fus max.	4 m/min	
Viteza de coborîre fus max.	5,35 m/min	
Moment max. la capul rotativ	240/360 daNm	
Diametrul de trecere prin fusul rotativ	76; 92 mm	
Cursa fusului capului rotativ	650 mm	
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°	
Capacitatea în cablul tobei carotierei introductibile	500 daN	
Diam./lungime cablu carotieră introductibilă	6 mm/800 m	
Vitezele cablului	0,142...1,47 m/s	
Grup de pompare acționat independent cu motor	Diesel electric	
Debit teoretic	31—450 l/min	
Pompă de noroi tip	3 PN — 40	
Presiunea maximă	100 daN/cm ²	
Numărul habelor de noroi	2	
Capacitatea unei habe	2 100 l	
Denisipator	Ø 70 mm	
Mast tip	Construcție metalică rabatabilă	
Unghiul de foraj înclinat cu mast	0—45°	
Înălțimea sol — axa geamblacului	14,5 m; 14,5 m	
Lungimea pasului de manevră	12,5 m; 12,5 m	
Masa instalației cu agregat de foraj și tobă carotieră introductibilă	8 970 kg; 8 360 kg	

3.8.1.4. Instalația de foraj FG-5

După destinație, energia de acționare și gradul de mobilitate, instalația se execută în patru variante:

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta termică, transportabilă (pe remorcă) antrenată de un motor Diesel (varianta I). Instalație de foraj (fig. XI.117) se compune din grup de foraj, grup de pompare, instalația de noroi, mast cu substructură și echipament de manevră.

Grupul de foraj este compus din agregat de foraj și grup motor Diesel montate pe o remorcă monoax.

Motorul de acționare împreună cu agregatul de foraj formează o construcție unitară, retractarea din poziția de foraj în poziția de manevră — eliberarea gurii sondei făcîndu-se împreună.

Agregatul de foraj se compune din următoarele subansamble: cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de viteze, cutie de distribuție, tobă de manevră și sistem de frinare.

cîte două capete rotative, mandrine, mandrine hidraulice și mandrine mecanice, cu diametrul interior al fusului de 76 mm și de 92 mm și tobă carotieră introductibilă-opțional. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prăjinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic cu ajutorul unei instalații hidrostatice prevăzută cu o pompă cu pistoane axiale cu debit

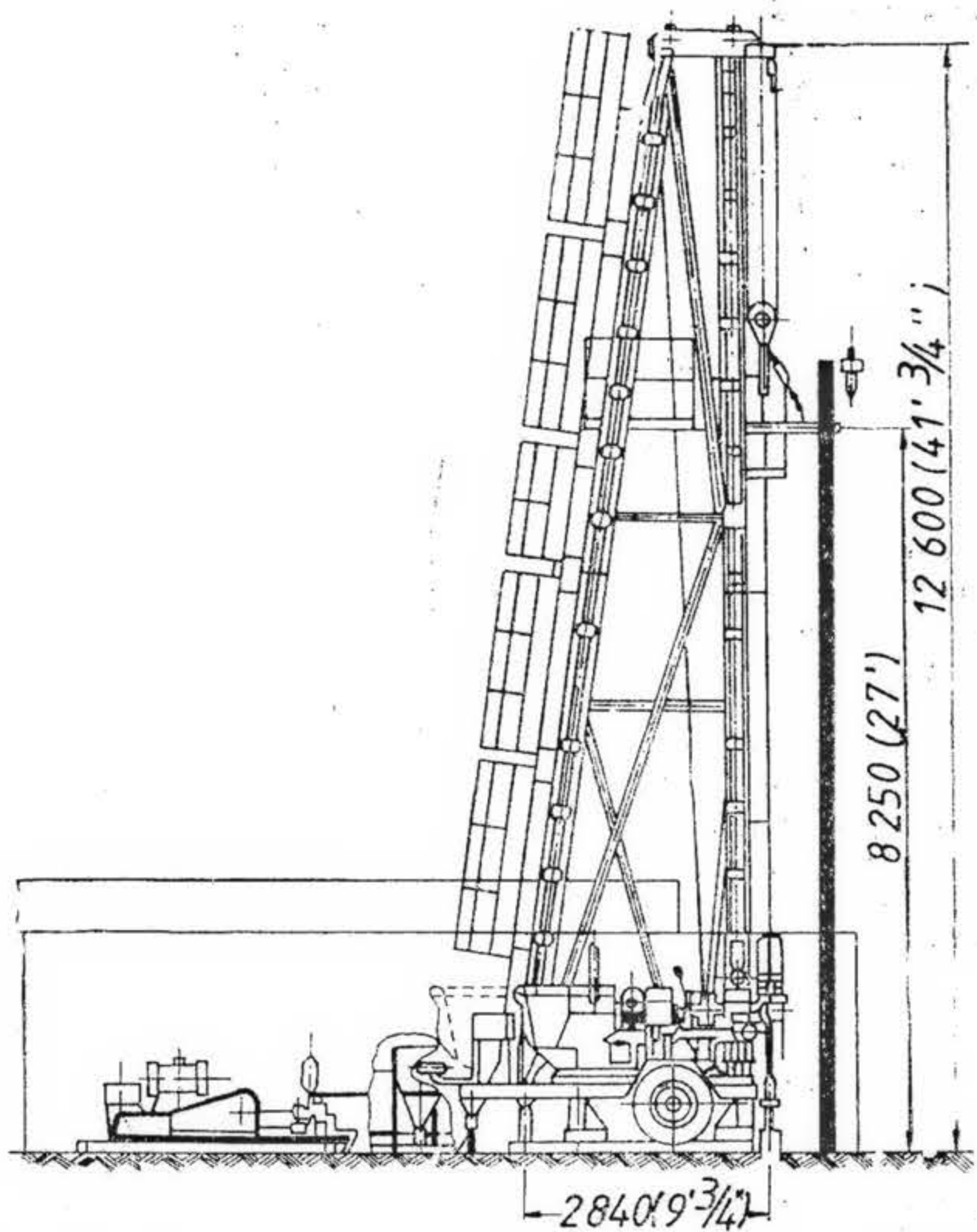


Fig. XI.117. Instalația de foraj FG-5 transportabilă (pe remorță), varianta I.

variabil și o pompă manuală. Pompa cu debit variabil este dotată cu un regulator de presiune care adaptează automat debitul pompei la regimul de lucru, funcționare cu consum minim de putere pentru carotaj cu apăsare hidraulică.

Grupul motor Diesel conține instalația de răcire, instalația de alimentare, rezervor de motorină, sistemul de comandă, instalația electrică și pupitrul de comandă, asamblate într-o unitate distinctă.

Grupul de pompare este montat separat pe o remorță monoax și se compune dintr-un motor Diesel și pompă de noroi.

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta termică pe sanie (varianta II). Instalația are componența primei variante, avînd agregatul de foraj și grupul de pompare staționare, montate pe sanie.

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta electrică pe sanie (varianta III). Această variantă este identică cu varianta II, cu deosebire că grupurile motor Diesel sînt înlocuite cu cîte un motor electric.

Instalație de foraj geologic FG-5 — varianta electrică pe sanie în montaj pentru subteran (varianta IV). Această variantă este identică cu varianta III, cu deosebire că nu are mast. Geamblacul este fixat pe două grinzi încastate în pereții galeriei subterane.

Caracteristici tehnice

	I	II	III	IV
Adîncimea de foraj cu prăjini:				
50 RS — 50 mm		300 m		
$q = 6,7 \text{ kg/m}$				
SzaW — 44,45 mm		600 m		
$q = 5,3 \text{ kg/m}$				
SzBW — 53,97 mm		500 m		
$q = 6,85 \text{ kg/m}$		400 m		
SzNW — 66,68 mm		500 m		
$q = 8,9 \text{ kg/m}$		400 m		
BQ — 55,6 mm		500 m		
$q = 5,9 \text{ kg/m}$		400 m		
NQ — 69,9 mm				
$q = 7,6 \text{ kg/m}$				
Diametrul găurii forate:				
inițial		151 mm		
final				
— coroane cu diamante		59 mm		
— coroane cu carburi metalice		99 mm		
Capacitatea de ridicare la cîrlig (sistem de manevră pe 2 fire)				
— nominal		3 200 daN		
— maxim		5 000 daN		
Diametru/lungime cablu manevră		16 mm/50 m		
Puterea/turația motorului de antrenare a agregatului		45 CP/2 400 rot/min; 22 kW/1 450 rot/min		
Puterea/turația motorului de antrenare a pompei de noroi		45 CP/2 400 rot/min; 22 kW/1 450 rot/min		
Cursa de retractare a agregatului de foraj		400 mm		
Numărul treptelor de viteză la trolu		5		
Vitezele de ridicare la cîrlig		0,39...2,62 m/s		
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ		10 + 2 rev.		
Turațiile la capul rotativ				
— Ø 76				
— gama încet		120; 210; 330; 550; 785 rot/min		

	I	II	III	IV
— gama repede	245; 420; 660; 1 100; 1 570 rot/min			
— revers	110; 220 rot/min			
Ø 92				
— gama încet	100; 180; 280; 465; 665 rot/min			
— gama repede	200; 360; 560; 930; 1 330 rot/min			
— revers	95; 190 rot/min			
Forța de ridicare hidraulică	10 000 daN			
Forța de apăsare hidraulică	7 500 daN			
Viteza de ridicare fus max.	4 m/min			
Viteza de coborîre fus max.	5,35 m/min			
Moment max. la capul rotativ	240/360 daNm			
Diametrul de trecere prin fus	76; 92 mm			
Cursa fusului capului rotativ	650 mm			
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°			
Capacitatea în cablu tobei carotierei introduc- tibile	500 daN			
Diam/lungime cablu carotieră introductibilă	6 mm/600 m			
Vitezele cablului	0,142... 1,47 m/s			
Grup de pompare acționat cu motor	Diesel; Diesel; electric; electric			
Debit teoretic	26—317 l/min			
Pompă de noroi	3 PN—20			
Presiunea maximă	63 daN/cm ²			
Numărul habelor de noroi	2			
Capacitatea unei habe	2 100 l			
Denisipator	Ø 70 mm			
Mast tip	construcție metalică rabatabilă			
Unghiul de foraj înclinat cu mast	0—45°			
Înălțimea sol-axa geamlacului	14,5 m; 14,5 m; 14,5 m; 6—14,5 m			
Lungimea pasului de manevră	12,5 m; 12,5 m; 12,5 m			
Masa instalației de foraj cu toba carotieră intro- ductibilă	9 040 kg; 8 040 kg; 7 260 kg; 4 740 kg			

3.8.1.5. Instalația de foraj FG-1,2 M

Instalația de foraj FG-1,2 M (fig. XI.118) este destinată cercetărilor geologice prin foraj și carotaj.

Se mai poate utiliza și pentru cercetări și amenajări hidrotehnice, consolidări de fundații, pozare de cabluri pe sub drumuri (terasamente) etc. Cu o dotare specială poate fi utilizată și la săparea de găuri de degazare și control.

Instalația este cu transmisie hidrostatică. Se poate executa montată pe roți de vagonet de mină sau staționară pe sănii. Cuprinde: grupul de foraj, grupul de acționare, grupul motopompă și instalație de noroi.

Grupul de foraj are o sanie cărucior pe care se montează agregatul de foraj format dintr-o ramă (cadru de avans). Pe cadrul de avans se montează broasca și centratorul de prăjini. Pe un cărucior cu roți de mină (sau pe sanie) se montează motorul de acționare.

Grupul de pompare are un cărucior cu roți de mină pe care se montează motorul de acționare, pompa de noroi, furtunuri, robineti etc., putînd fi cu pompă 3PN-10 sau 2PN-10.

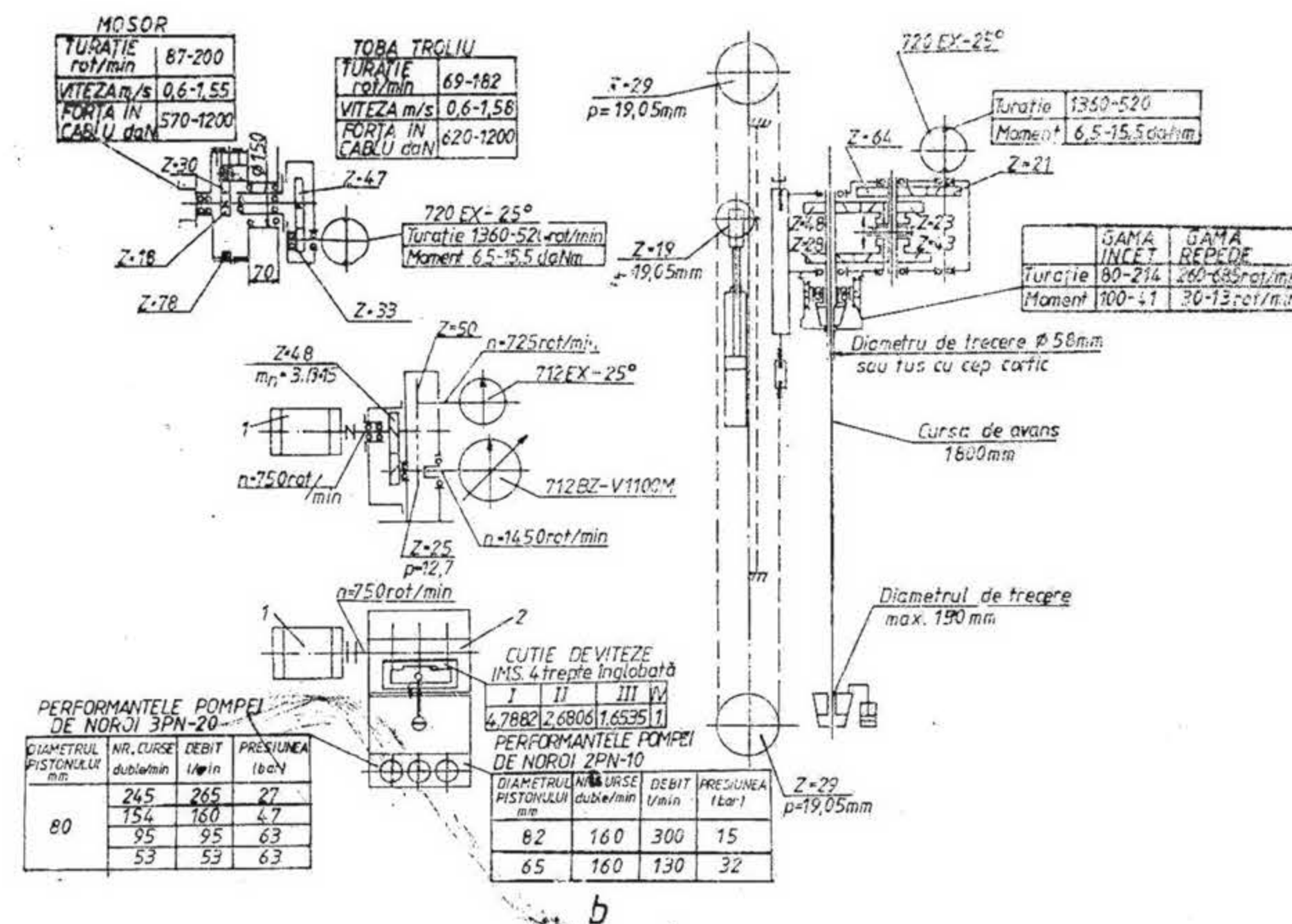
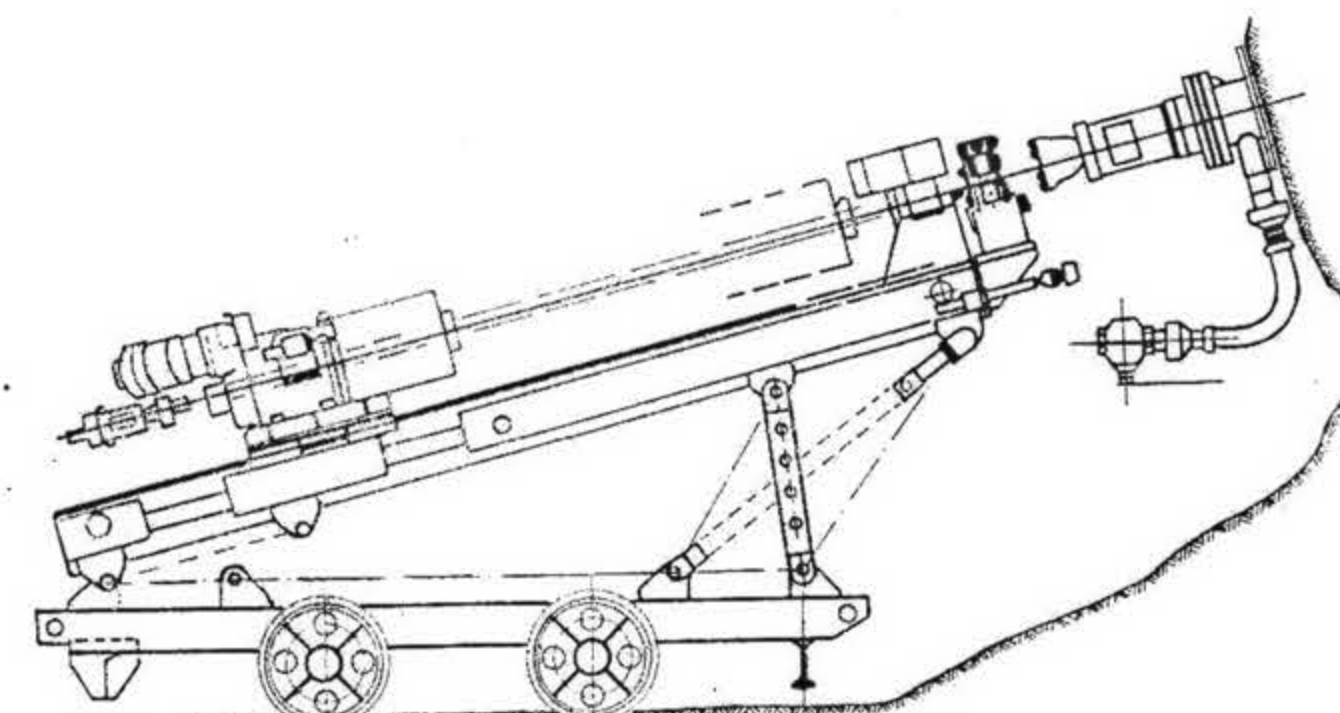


Fig. XI.118. Instalația de foraj FG-1,2 M:

a — vedere de ansamblu; b — schemă cinematică (1 — motor pneumatic sau electric; 2 — pompă de noroi).

Caracteristici tehnice

Adâncimea nominală de foraj:	
— cu coroane cu diamante și prăjini AW	200 m
— cu sape și prăjini BW	150 m
— cu sape și prăjini BW	150 m
Diametrul găurii forate:	
— maxim (inițial)	200 mm
— final cu diamante	48 mm
— final cu sape (roci semitari)	93 mm
Capacitatea de manevră:	
— extragere	0...2,4 t
— introducere	0...2,3 t
— apăsare	0...2,3 t
Viteza de manevră:	
— extragere	0...0,44 m/s
— introducere	0...0,33 m/s
Cursa de manevră	1800 mm
Cap rotativ — turații/moment (diam. de trecere	
Ø 58 mm): — treapta încet	0...80...214 rot/min 0...100 daN·m
— treapta repede	0...260...685 rot/min 0...30 daN·m
Unghiul de foraj posibil	0...360°
Gabarite L × B × H:	
— grup foraj	3100 × 400 × 925 m
— grup acționare	1800 × 600 × 900 m
— grup preparare	1100 × 600 × 680 m
Masa netă:	
— acționare pneumatică:	
— complet normal	2010 kg
— complet opțional	3820 kg
— acționare electrică:	
— complet normal	1630 kg
— complet opțional	3780 kg
Cărucior de mină	
ecartament/ampatament	630/1000 m 630/800 m

3.8.1.6. Instalația de foraj FG-0,63 D

Instalația de foraj FG-0,63 D (fig. XI.119) este destinată cercetărilor geologice pentru substanțe utile solide sau fluide, dar și pentru lucrări geotehnice, consolidări etc.

Instalația se execută în două variante, după modul de transport, pe roți de vagonet sau pe sanie.

Acționarea se face cu motoare pneumatice cu pistoane radiale sau electric.

Instalația este cu transmisie hidrostatică și cuprinde: agregatul de foraj, grupul de pompare noroi, instalația de prevenire a erupțiilor și instalația de noroi.

Agregatul de foraj este format din două unități montate pe o sanie: cadrul de avans și unitatea de putere.

Grupul de avans are prevăzute la extremități șuruburi cu plăci de reazem pe sol și se poate monta și independent de unitatea de putere.

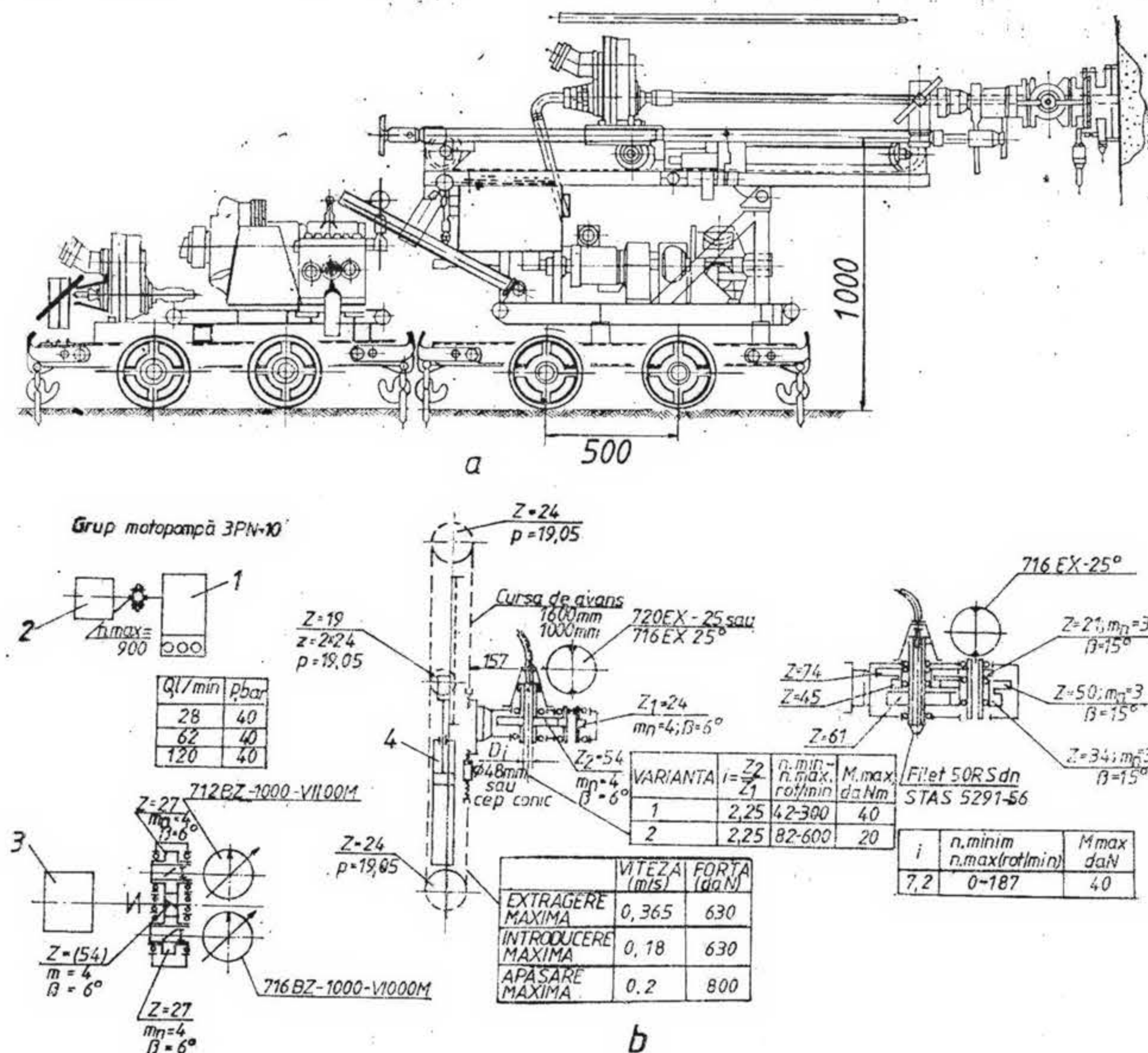


Fig. XI.119. Instalația de foraj FG-0,63 D:

a — vedere de ansamblu; b — schemă cinematică (1 — pompă de noroi 3 PN-10; 2 — motor pneumatic cu pistoane radiale; 3 — motor pneumatic sau electric; 4 — cilindru hidraulic cursa 800 mm, 500 mm).

Grupul de pompare este format din motorul de antrenare, cuplajul periflex și pompa tip 3PN-10, totul montat pe o sanie.

Instalația de prevenire a erupțiilor este formată în principal de un prevenitor rotativ și unul orizontal.

Caracteristici tehnice

	I (pe sanie)	II (pe vagonet)
Adâncimea de foraj cu prăjini		
EW — 34,9 mm; $q = 4,5$ kg/m	110 m	
AW — 44,5 mm; $q = 5,3$ kg/m	100 m	
Diametrul găurii forate:		
— maxim (inițial)	120 mm	
— minim (final)	48 mm	
Capacitatea de manevră:		
— extragere	0...0,5 t	
— introducere	0...0,45 t	
Viteza de manevră:		
— extragere	0,4 m/s	
— introducere	0,3 m/s	
Cursa de avans	1800 mm	
Cap rotativ: turație	0...600	0...200 rot/min
moment	0...12	0...40 daNm
Unghiul de foraj	0—360°	
Pompa de noroi	tip 3PN-10	

3.8.2. ALTE TIPURI DE INSTALAȚII DE FORAJ

3.8.2.1. Instalația de foraj SBA-500

Instalația este folosită pentru forarea rotativă a găurilor de sondă verticale și înclinate, cu adâncimea până la 500 m, cu diametrul final de 59 mm.

Prin gama largă de viteze de rotație ale garniturii de foraj (120 până la 1015 rot/min), cu această instalație se poate foră în condiții diferite atât cu aliaje dure cât și cu coroane cu diamante.

Pe de altă parte, prezența indicatorului de presiune și a kilowattmetrului permite controlul principalilor parametri ai procesului de foraj și alegerea vitezelor la operațiile de manevră.

În funcție de felul acționării și turația axului de rotație, instalația de foraj SBA-500 se livrează în patru variante:

- SBA-500 GE acționată cu motor electric;
- SBA-500 GD — identică din punct de vedere constructiv cu SBA-500 GE însă acționată cu motor Diesel;
- SBA-500 E cu axul de acționare prevăzut cu două mandrine hidraulice și instalație hidraulică care asigură prinderea automată a garniturii de prăjini, fără oprirea rotației sau deconectarea instalației de la motorul electric;

— SBA-500 D, analoagă cu instalația SBA-500 E, însă acționată cu motor Diesel (fig. XI.120).

Caracteristici tehnice:

Adâncimea de foraj cu prăjini de $\varnothing 50$ mm:	
— la diametrul final al găurii de sondă $\varnothing 93$ mm	300 m
— la diametrul final al găurii de sondă $\varnothing 59$ mm	500 m
Diametrul inițial de foraj	151 mm

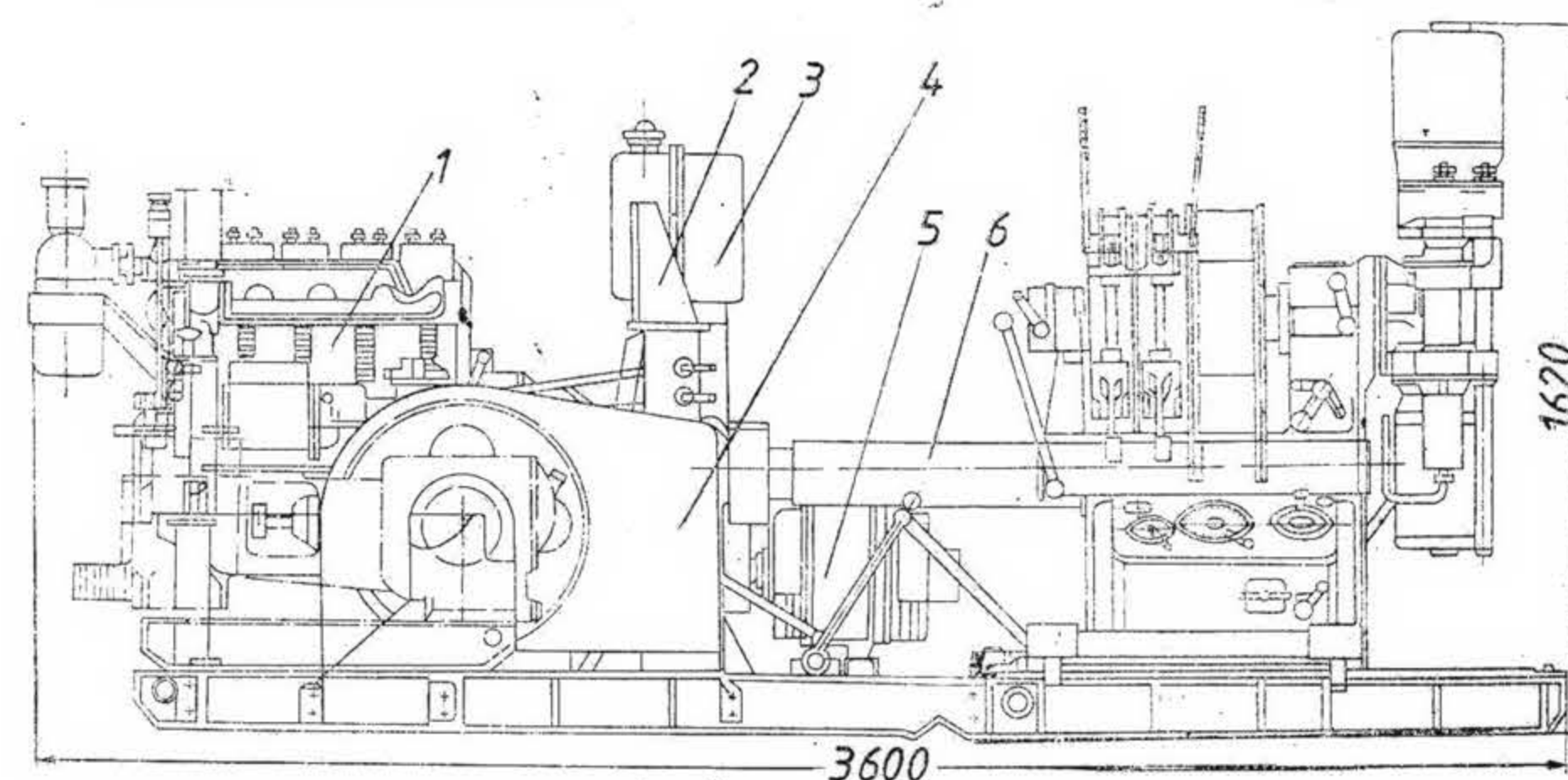


Fig. XI.120. Ansamblul instalației SBA-500 D:

1 — motor D37-E; 2 — tablou de comandă și control; 3 — rezervor de combustibil; 4 — apărătoarea pompei; 5 — generator EȘ-52; 6 — apărătoarea axului cardanic.

Diametrul de trecere al axului vertical	52 mm
Unghiul de foraj față de verticală	90°—45°
Diametrul prăjinilor de foraj	30—42 mm
Avansarea garniturii de foraj	hidraulică
Cursa axului universal	400 mm
Turația axului	120; 195; 280; 430; 700; 1015 rot/min
Viteza maximă de coborîre a garniturii de prăjini	peste 1,1 m/min
Viteza maximă de ridicare a garniturii de prăjini	peste 0,83 m/min
Acționarea instalației	cu motor electric
Puterea	22 kW; 40 CP
Dimensiunile instalației acționată cu motor electric:	
— lungimea	1670 mm
— lățimea	1130 mm
— înălțimea	1620 mm
Masa	1350 kg

Instalația de foraj SBA-500 este prevăzută cu panou de comandă electrică cu aparatură electrică de pornire și de protecție.

3.8.2.2. Instalația de foraj URB-3AM

Instalația, destinată pentru forajul sondelor verticale cu masă rotari și circulație directă, este compusă din blocul de foraj, montat pe șasiul autocamionului MAZ cu subansamble auxiliare și utilaje anexă (fig. XI.121). Acționarea mecanismelor se realizează de la o sursă autonomă.

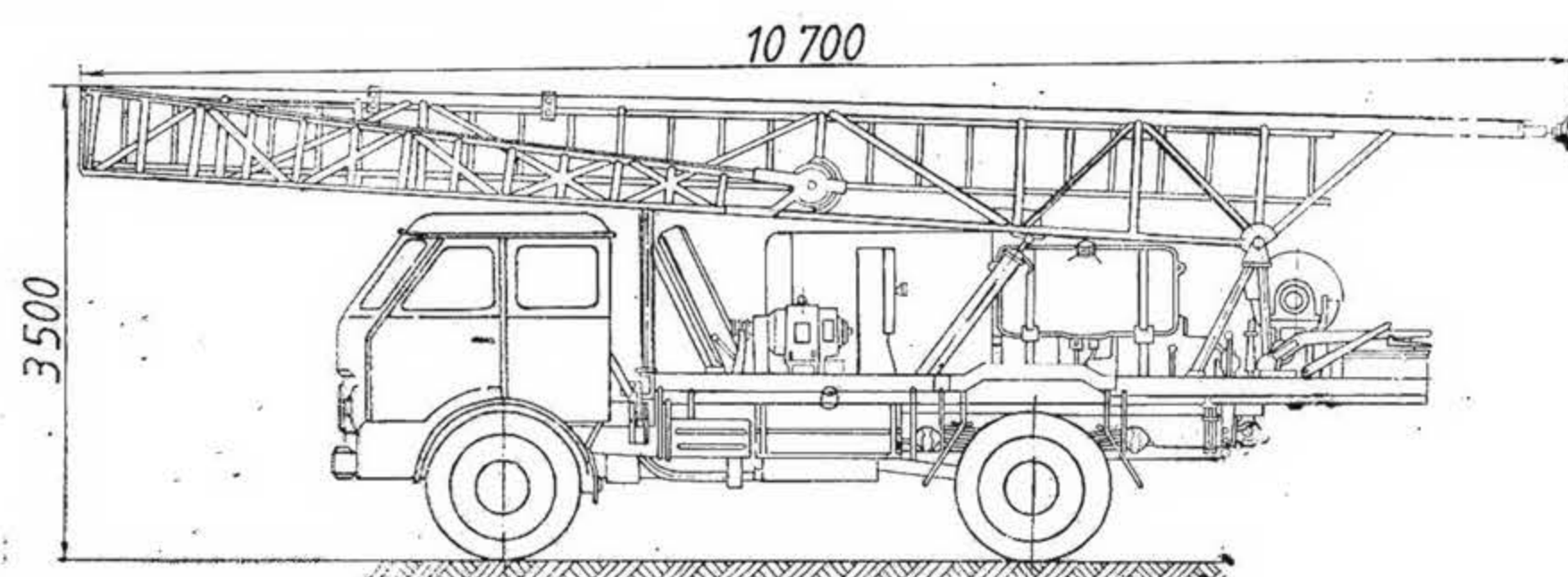


Fig. XI.121. Instalația de foraj autotransportabilă URB-3AM:

a — vedere de ansamblu; b — schemă cinematică: 1 — generator; 2 — motor de acționare; 3 — ax cardanic; 4 — cutie de transmisie; 5 — troliu; 6 — ax cardanic pentru acționarea mesei rotative; 7 — masă rotativă; 8 — indicator de masă; 9 — prăjină pătrată; 10 — virtej; 11 — bloc de ridicare; 12 — transmisie cu lanț; 13 — aparat de control; 14 — pompă de noroi.

Caracteristici tehnice:

Adâncimea de foraj (recomandată)

- cu prăjini \varnothing 60,3 mm
- cu prăjini \varnothing 73 mm

500 m
300 m

Diametrul de foraj (recomandat):

- de începere 243 mm
- final 76 mm

Modul de acționare

motor D 54; 54 CP 1300 rot/min

Troliul

funcțion. cu 2 mufe cu 2 discuri, acționat cu lanț, frână cu o bandă și tamburi ajutători

Mastul

rabatabil cu front deschis

Înălțime

16 m

Acționarea

transmisie cardanică

Orificiul de trecere

250 mm

Turația mesei: direct

110; 190; 314 rot/min

invers

46 rot/min

Pompa de noroi

tip 11 GRT

Gabaritele blocului de foraj (poziție de transport):

- lungime 10 700 mm
- lățime 2 800 mm
- înălțime 3 500 mm

Construcție și funcționare. Pentru acționarea mecanismelor, puterea se transmite de la motorul 2 (fig. XI.121, b) prin intermediul unui ax cardanic 3, la cutia de transmisie 4, care servește pentru acționarea principalelor mecanisme: troliu, masă rotativă și pompă de noroi.

Troliul 5 este acționat cu ajutorul lanțului 12 și a steluțelor $Z = 15$ și $Z = 80$ de la axul cutiei de transmisie. Rotația este transmisă la masa rotativă 7 de la axul principal al cutiei de transmisie cu ajutorul mufei danturate și a axului cardanic 6; la pompa de noroi 14 rotația se transmite de la axul principal al cutiei de distribuție prin intermediul curelelor trapezoidale.

3.8.2.3. Instalația de foraj AVB-TM

Instalația de foraj mobilă AVB-TM (fig. XI.122) este destinată pentru forajul sondelor de explorare și exploatare până la adâncimea de 100 m, cu prăjini de 60,3 mm. Forajul se efectuează rotativ, cu spălare cu noroi sau apă.

Toate mecanismele sînt montate pe tractorul cu șenile pentru terenuri accidentate.

Instalația AVB-TM este compusă din: cutie de viteză, reductor, masă rotativă, troliu, pompă de noroi, cap hidraulic cu dispozitiv de fixare-culisare, mast, troliu manual, mecanisme de comandă ale instalației, transmisia acționării malaxorului de noroi.

Acționarea instalației se realizează de la motorul tractorului, printr-o cutie de viteze cu 4 trepte, fixată pe puntea din spatele acestuia. Cutia de viteze cu ajutorul transmisiei cu lanț comunică cu reductorul.

Reductorul este mecanismul de distribuție pentru acționarea mesei rotative, troliului și a pompei de noroi. Cuplarea acestor mecanisme se face cu ajutorul unor mufe de cuplare și a unui pinion mobil. La capătul reductorului este fixată masa rotativă.

Principalele caracteristici tehnice ale instalației:

Adâncimea de lucru (cu prăjini \varnothing 50) 100 m

Diametrul de foraj: inițial

112 mm

final

93 mm (cu care s-au atins

în mod practic adâncimi până la 250 m)

Agregatul de foraj și pompa sint antrenate de către motorul tractorului (100 CP la o turație de 1050 rot/min)

Sarcina maximă în cârlig 1250 daN

Numărul treptelor de viteză la masă: $n_1 = 44$ rot/min; $n_2 = 91$ rot/min;
 $n_3 = 166$ rot/min; $n_4 = 210$ rot/min

Prăjină de antrenare hexagonală $\varnothing 2 \frac{7}{8}$ in.

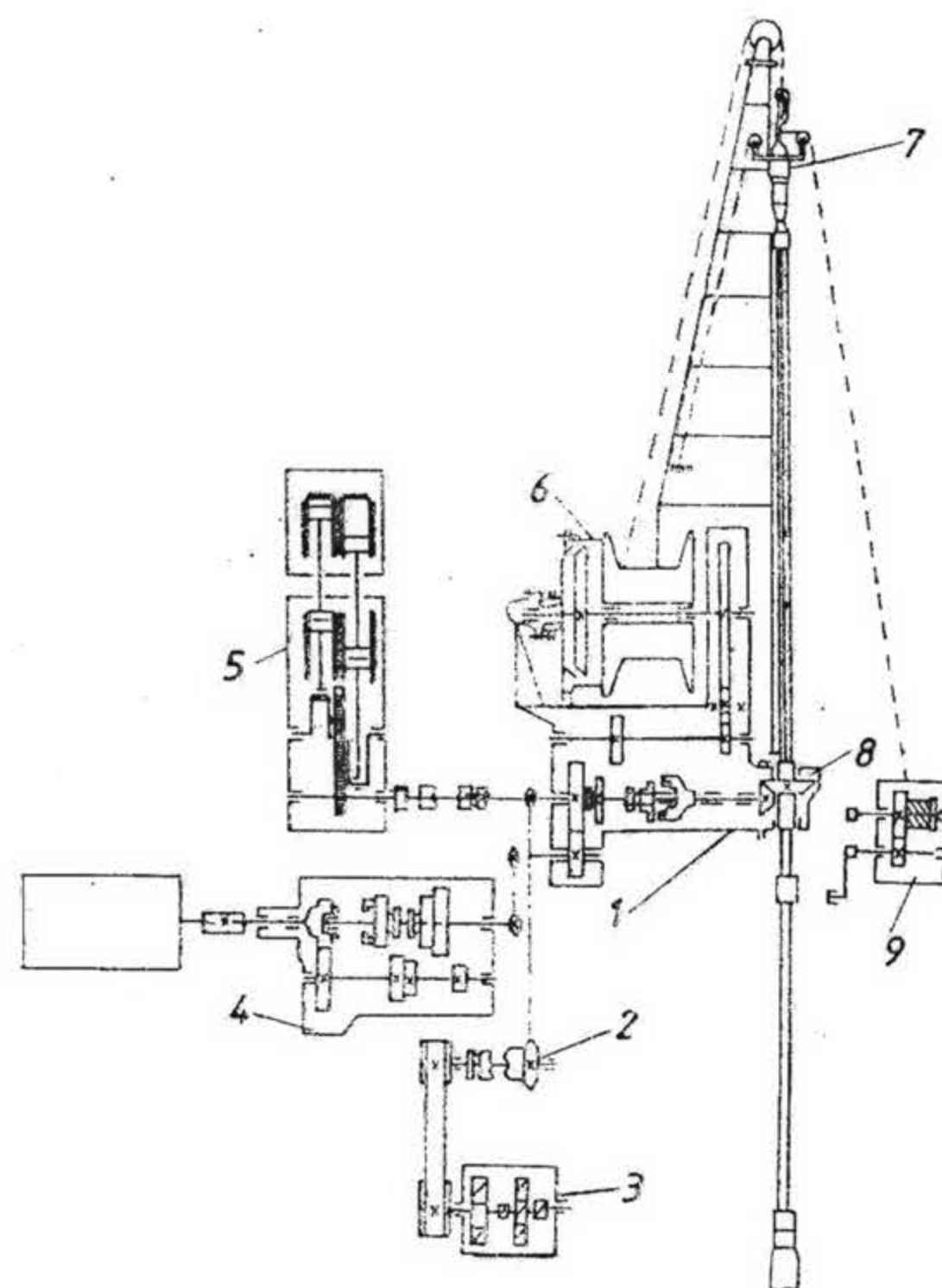


Fig. XI.122. Schema cinematică a instalației de foraj AVB-TM;

1 — reductor; 2 — dispozitiv de acționare a malaxorului de noroi; 3 — malaxor de noroi; 4 — cutie de viteze; 5 — pompă de noroi 250/50 A; 6 — trolu mecanic; 7 — cap hidraulic de presiune; 8 — masă rotativă; 9 — trolu manual.

Sistemul de avansare	mecanic
Înălțimea mastului	9 m
Diametrul cablului de foraj	13 mm
Pompa de noroi tip AVB-TM	200 l/min
cu o singură treaptă de viteză, debit	(0,0033 m ³ /s).

3.8.2.4. Instalația de foraj BSK

Sondezele din această grupă sint instalații ușoare cu care se execută foraje pînă la 150 m, destinate cercetării geologice sau studiilor geotehnice.

Din punct de vedere constructiv se caracterizează prin lipsa tobei și a stîlpului (mastului). Extragerea și introducerea garniturii de săpare în această formă constructivă se execută cu ajutorul cilindrilor hidraulici de avansare.

Viteza de extragere este de 0,15—0,17 m/s. Din grupa instalațiilor ușoare BSK face parte sondeza BSK-4, al cărui mecanism de avansare constă dintr-un singur cilindru hidraulic, sondeza BSK-2, sondeza BSK-3 și BSK-2M-1-100.

Caracteristicile tehnice ale instalației BSK-2M-1-100 sînt:

Adîncimea de foraj	100 m
Diametrul maxim de începere	93 mm
Diametrul final cu diamante	36 mm
Diametrul prăjinilor de foraj	42 și 33,5 mm
Electromotor pentru acționare	7,5 kW
Numărul treptelor de viteză	2
Turațiile capului rotativ	300 și 600 rot/min
Debitul pompei	3,5 l/min
Masa agregatului	450 kg

3.8.2.5. Instalația de foraj ZIF-1200

Sub aspectul adîncimilor de foraj, sondeza ZIF-1200 face tranziția între forajul de adîncime medie și forajul de mare adîncime.

Prin construcția sa, sondeza ZIF-1200 prezintă aceleași avantaje în comparație cu alte sondeze, în ceea ce privește posibilitatea realizării unui foraj rapid, reglarea precisă a presiunii pe talpă, rapiditatea în execuția manevrelor etc.

Părțile componente ale instalației sînt: granicul de foraj 2 cu motorul electric 3; pompa de noroi cu motorul electric al acesteia 4 (fig. XI.123).

Granicul de foraj este fixat pe același postament 1 cu motorul electric și așezat pe fundație de beton. Pompa de noroi cu electromotorul său se așază pe fundamente separat.

Granicul de foraj constă din: rama cu accesoriile respective, postamentul, cilindrii pentru deplasarea granicului, rezervorul de ulei, cutia de viteze, dispozitivul hidraulic de dirijare, trolul, frîna de coborîre, frîna de ridicare, universalul, mandrina inferioară, mandrina superioară, pompa hidraulică de ulei, conductele pentru ulei, indicatorul de greutate pe talpă, instalația electrică și pompa de ulei manuală.

Modul de funcționare a sondezei. Mișcarea de la electromotorul de acționare a sondezei ZIF-1200-A se transmite cutiei de viteze prin intermediul ambreiajului. Cu ajutorul cutiei de viteze mișcarea este transmisă mai departe la axul tobei, prin cele patru viteze.

Presiunea pe talpă se realizează prin sistemul hidraulic al agregatului. Din rezervorul de ulei, pompa refulează uleiul la dispozitivul de dirijare hidraulic și de aici trece la cilindrii dispozitivului de avansare.

Apăsarea necesară pe talpă se obține prin reglarea presiunii de ulei în conducta principală de refulare cu ajutorul dispozitivului de dirijare. Urmărirea apăsării pe talpă se face cu ajutorul indicatorului de greutate.

Punerea în funcțiune a sondezei ZIF-1200-A și asigurarea funcționării în timpul forajului se face prin intermediul manetelor acționate de sondor.

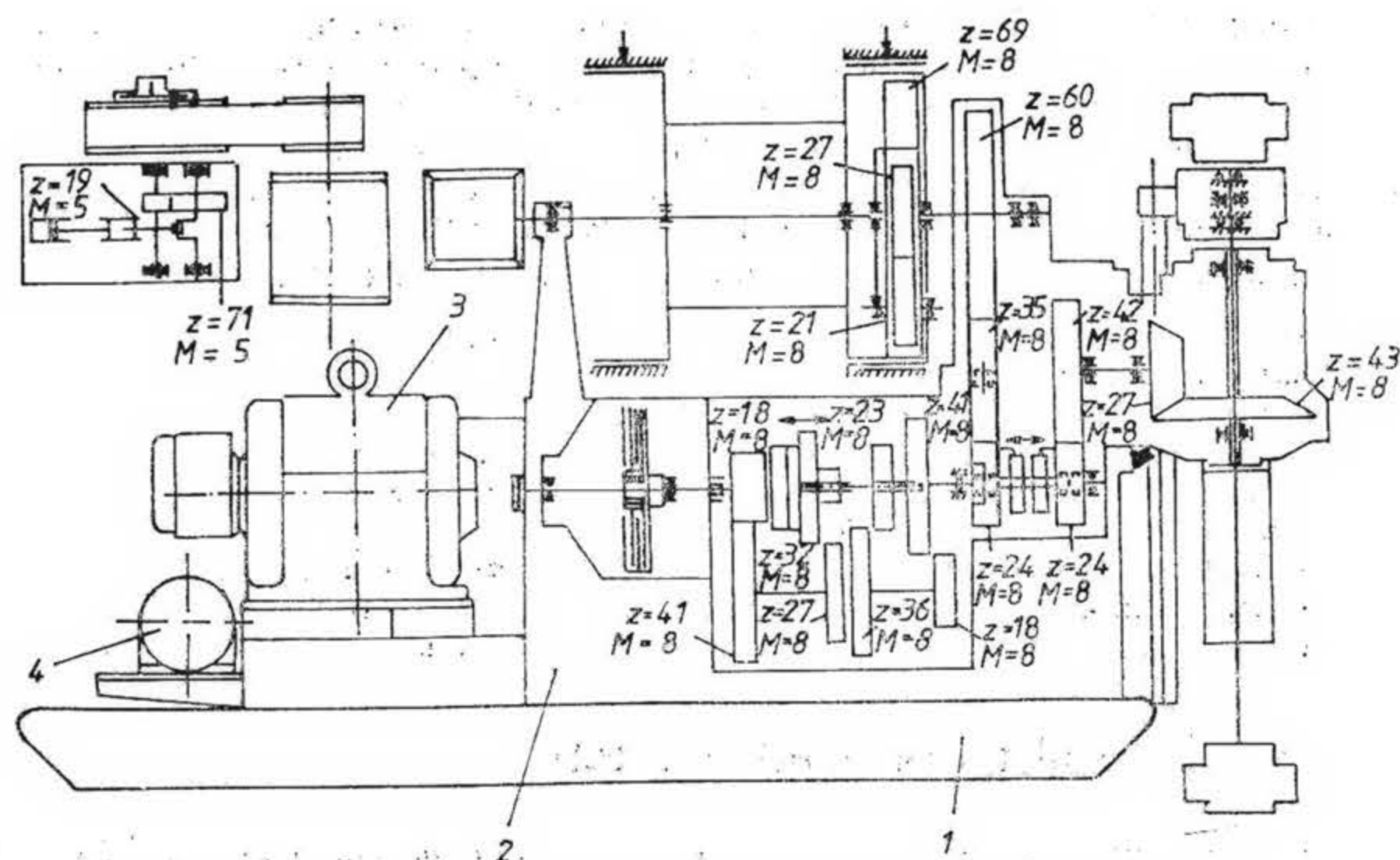


Fig. XI.123. Schema cinematică a instalației de foraj ZIF-1200 A.

3.8.2.6. Instalația de foraj GP-1 pentru subteran

Cu ajutorul ei se pot foră găuri de sondă sub orice unghi de înclinare, până la adâncimea de 100 m.

Sondeza este acționată de un motor electric de 4,5 kW, ce se alimentează de la rețeaua electrică subterană. Manevrarea sondezei se face hidraulic.

Granicul de foraj constă din: postamentul inferior, postamentul superior, carcasa dispozitivului de rotire, universalul, cutia de viteze, postamentul motorului electric, toba pentru extragerea garniturii de foraj.

Schema cinematică și modul de funcționare sînt redată în fig. XI.124.

3.8.2.7. Instalația de foraj DIAMEC-250

Sondeza (fig. XI.125), de construcție suedeză, este destinată pentru executarea lucrărilor geologice în subteran, putînd foră găuri de sondă înclinate sub orice unghi pînă la adâncimea de 250 m și cu un diametru final de 36 mm, cu coroane cu diamante.

Instalația are în componența sa următoarele părți:

— dispozitivul de avansare construit în două dimensiuni: de 850 mm, utilizat pentru forarea găurilor verticale în sus și în jos și de 1600 mm pentru forarea găurilor orizontale;

— dispozitivul de rotire, prevăzut cu o țeavă de ghidaj cu diametrul interior de 58 mm, pentru folosirea prăjinilor cu diametrul pînă la 66 mm. Este acționat cu un motor hidraulic care pune în mișcare țeava de ghidaj printr-o pereche de roți dințate;

Fig. XI.124. Schema cinematică a instalației de foraj GP-1

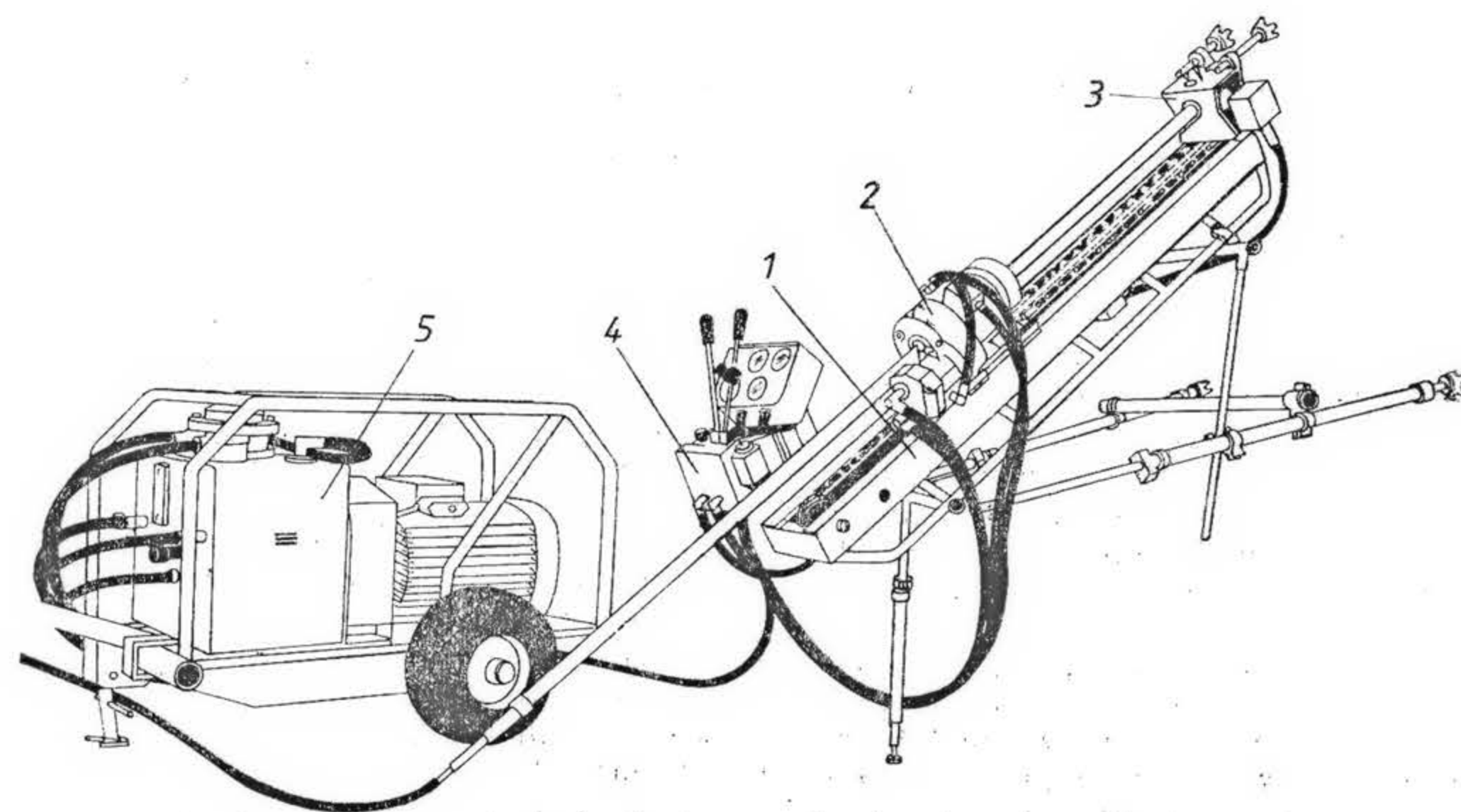
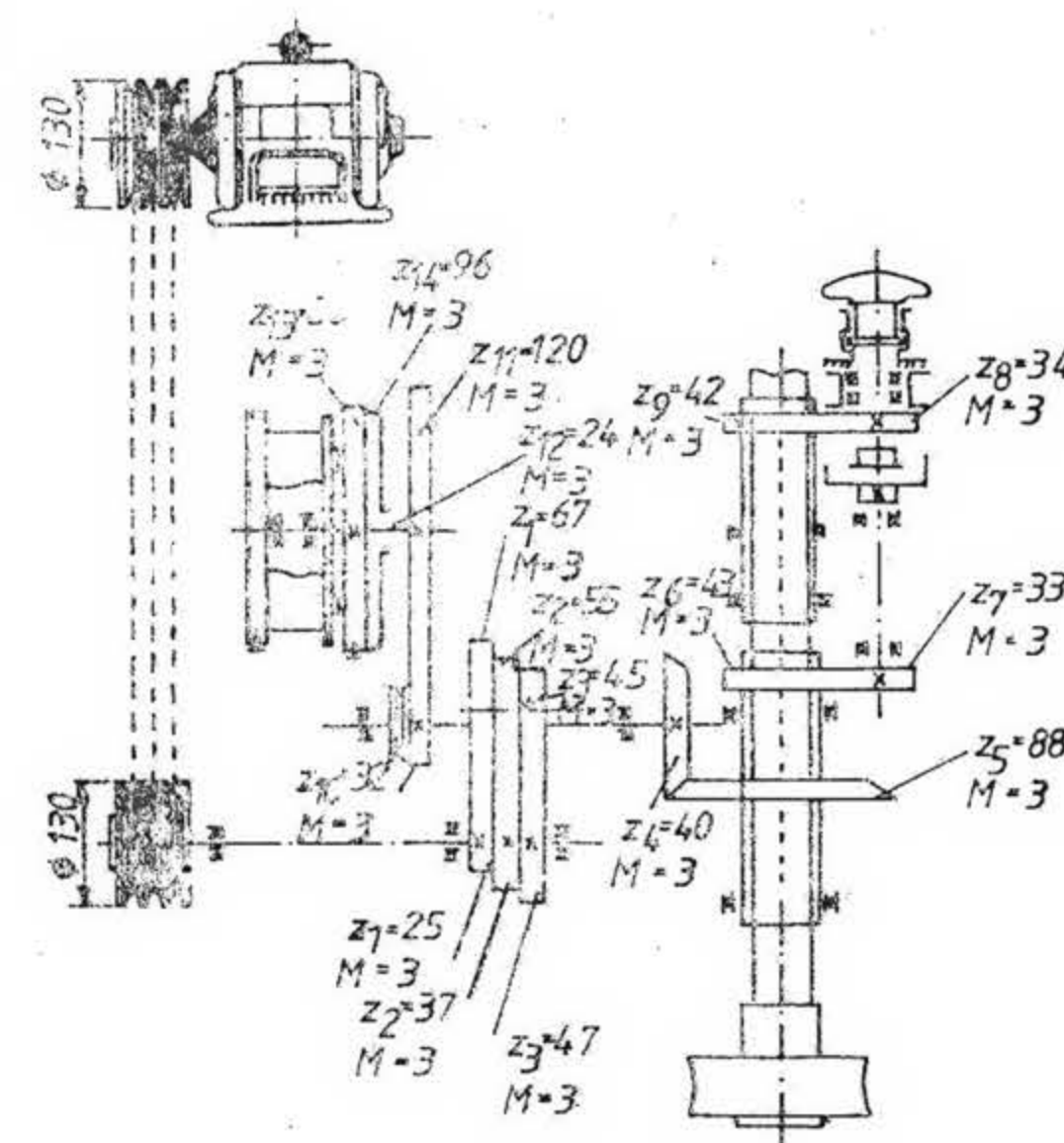


Fig. XI.125. Instalația de foraj Diamec 250:

1 — dispozitiv de avansare; 2 — dispozitiv de rotire; 3 — dispozitiv de prindere a prăjinilor; 4 — panou de comandă; 5 — grup de forță.

— echipamentul de prindere a prăjinii, amplasat la capătul frontal al dispozitivului de avans;

— panoul de comandă cu manetele de acționare.

Instalația este acționată de un motor electric sau un motor cu aer comprimat de 16 CP (11,7 kW).

Agregatul de foraj are masa de circa 300 kg.

3.8.2.8. Instalația de foraj Longyer 34

Este de construcție americană, fiind destinată forajului de explorare. Datorită gabaritului său redus, instalația poate fi folosită și în subteran.

Acționarea se face fie de la un motor termic de 11,5 CP (7,7 kW), fie de la un motor pneumatic de 12 CP. Pompa de noroi are un debit de maximum 150 l/min.

Instalația este prevăzută cu o tobă cu angrenaj planetar. Manevrarea carotierei introductibile se face cu o tobă solidarizată de granic.

3.9. INSTALAȚII DE SUPRAFAȚĂ ȘI ANEXE

Instalațiile de suprafață în foraj sînt destinate pentru protecția utilajului și a personalului, precum și pentru susținerea și manevrarea garniturii de foraj.

Pentru protecția utilajului și a personalului de intemperii atmosferice, se construiește o baracă ce adăpostește întreg agregatul de foraj, iar pentru susținerea și manevrarea garniturii se instalează deasupra găurii de sondă o construcție specifică numită *turlă*, în cazul sondelor de adîncime mare, *trepied* sau *mast* în cazul sondelor de adîncime mai mică.

În afară de turlă și baraca agregatului de foraj, în imediata apropiere a instalației se sapă *batalele pentru noroi* și se aranjează *sistemul de jgheaburi* pentru circulația noroiului.

Pentru alimentarea cu apă se instalează conductele respective și se amenajează drumul pentru transportul diferitelor materiale la sondă.

Construcția diferitelor tipuri de turlă și barăci depinde de natura lucrărilor de foraj și de sezonul în care se lucrează.

Dimensionarea turlei și a barăcii trebuie astfel făcută încît să asigure securitatea lucrărilor și instalarea regulamentară a utilajului de foraj.

Pentru adîncimi mici sînt tipizate instalații de foraj în formă de *trepied* cu înălțimea de 9 m, cu suprafața (*trepied* + baracă) de $4,5 \times 9$ m sau instalații de 12 m, 18 și 22 m înălțime cu turlă de tip dreptunghiular, cu suprafața variind între $4,5 \times 9$ m și 6×11 m.

La construcțiile destinate forajului pînă la 300 m adîncime se planifică săpături la gura sondei, pentru amenajarea terenului și săparea puțului, de 10 m³. La adîncimi de foraj de peste 300 m, volumul de săpături pentru instalarea construcțiilor de suprafață inclusiv săparea puțului se evaluează la 40 m³.

Turlă. Ca formă turlă este un triunchi de piramidă cu baza pătrată. Înălțimea turlei se determină prin lungimea completă a garniturii de foraj, prăjina grea și racordul pentru cablu și este construită din oțel. Partea de sus în care se încheie turlă și pe care se așază geamblacul se numește *coroană*.

Turlă metalică prezintă o serie de avantaje: este solidă, se poate transporta ușor, poate fi ușor și repede montată și demontată și nu prezintă pericol de incendiu.

Turlă se sprijină pe fundații ale căror mărimi și forme depind de natura terenului și de înălțimea turlei. În forajul de explorare fundațiile turlei se rezumă la un cadru de grinzi parțial îngropate în pămînt.

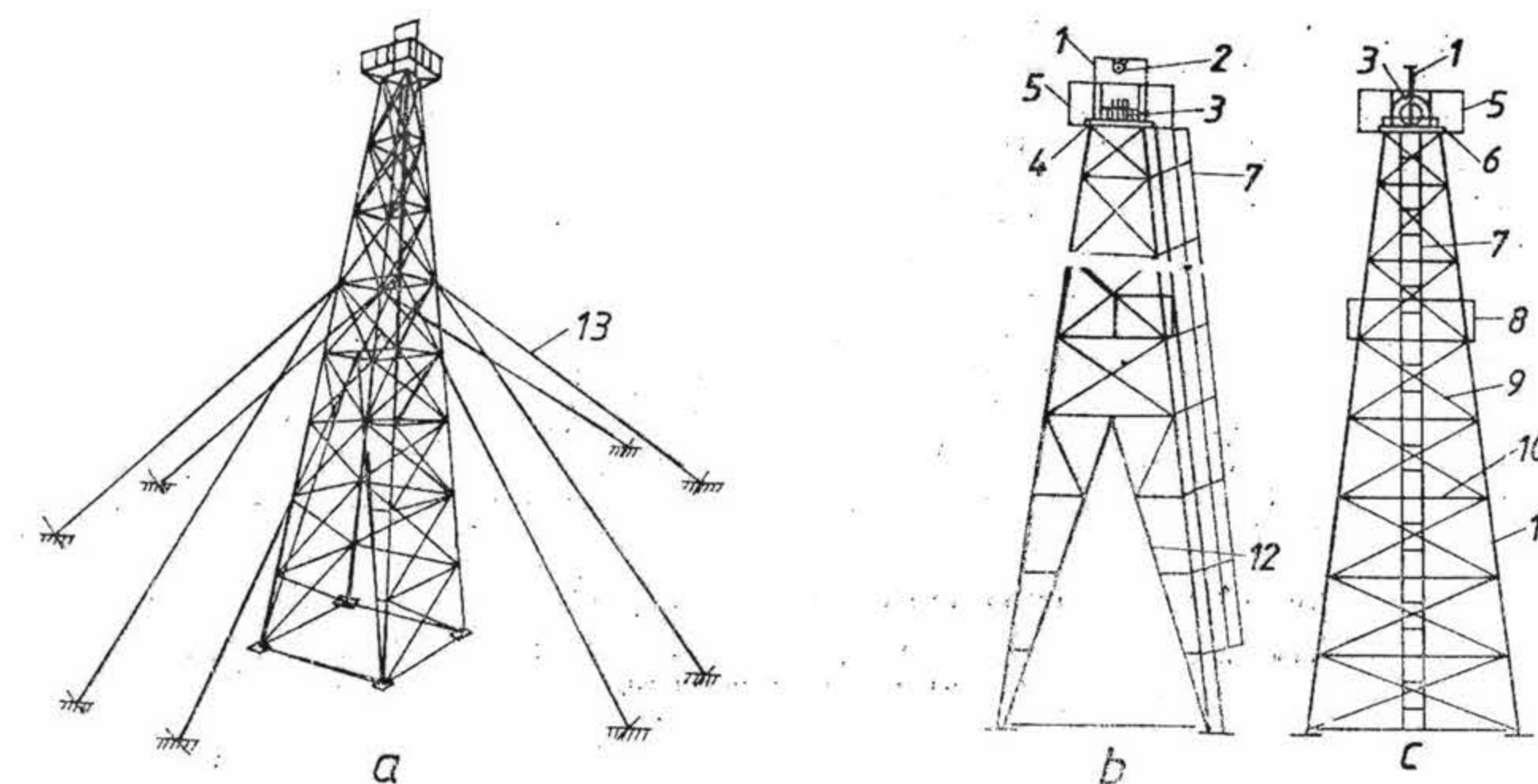


Fig. XI.126. Turlă pentru sondeze:

a — vedere de ansamblu; b — vedere din față; c — vedere laterală; 1 — capra geamblacului; 2 — scripete; 3 — geamblac; 4 — coroana turlei; 5 — balustradă; 6 — platforma geamblacului; 7 — scara turlei; 8 — platforma podului; 9 — diagonală; 10 — orizontală; 11 — picior; 12 — poarta turlei; 13 — ancore.

Părțile componente ale turlei sînt: capra geamblacului, grinziile coroanei, platforma geamblacului, podul și platforma podului, degetele pentru stivuirea pașilor, scările de acces și platformele de repaus (fig. XI.126).

Trepiedul. La forajul sondelor de mică adîncime, turlă este înlocuită de un *trepied*. Capetele de jos ale *trepiedului* se reazemă pe o ramă triunghiulară de 30/25 cm. Capetele de sus sînt reunite și fixate printr-un bulon.

Alegerea tipului de *trepiede* și fixarea înălțimii lor depinde de lungimea prăjinilor și de așezarea corectă a agregatului de foraj.

Mastul. Pentru forajul de mică adîncime, pînă la 400—500 m, *trepiedul* poate fi înlocuit prin *mast* (un stîlp cu unul sau două picioare) (fig. XI.127). El este legat de șasiul instalației sau al camionului și ancorat cu două cabluri.

Masturile prezintă avantajul că sînt ușoare și se manipulează repede, nu necesită fundații, însă folosirea lor este limitată de adîncimea la care se forează.

În prezent marea majoritate a instalațiilor de foraj moderne sînt dotate cu masturi. La unele tipuri de instalații autopurtate *mastul* se rotește pe o capră și se transportă odată cu instalația. Rabatarea se face mecanic de către agregatul de foraj.

În tabelul XI.47 sînt prezentate caracteristicile masturilor pentru sondeze, conform STAS 7999—83.

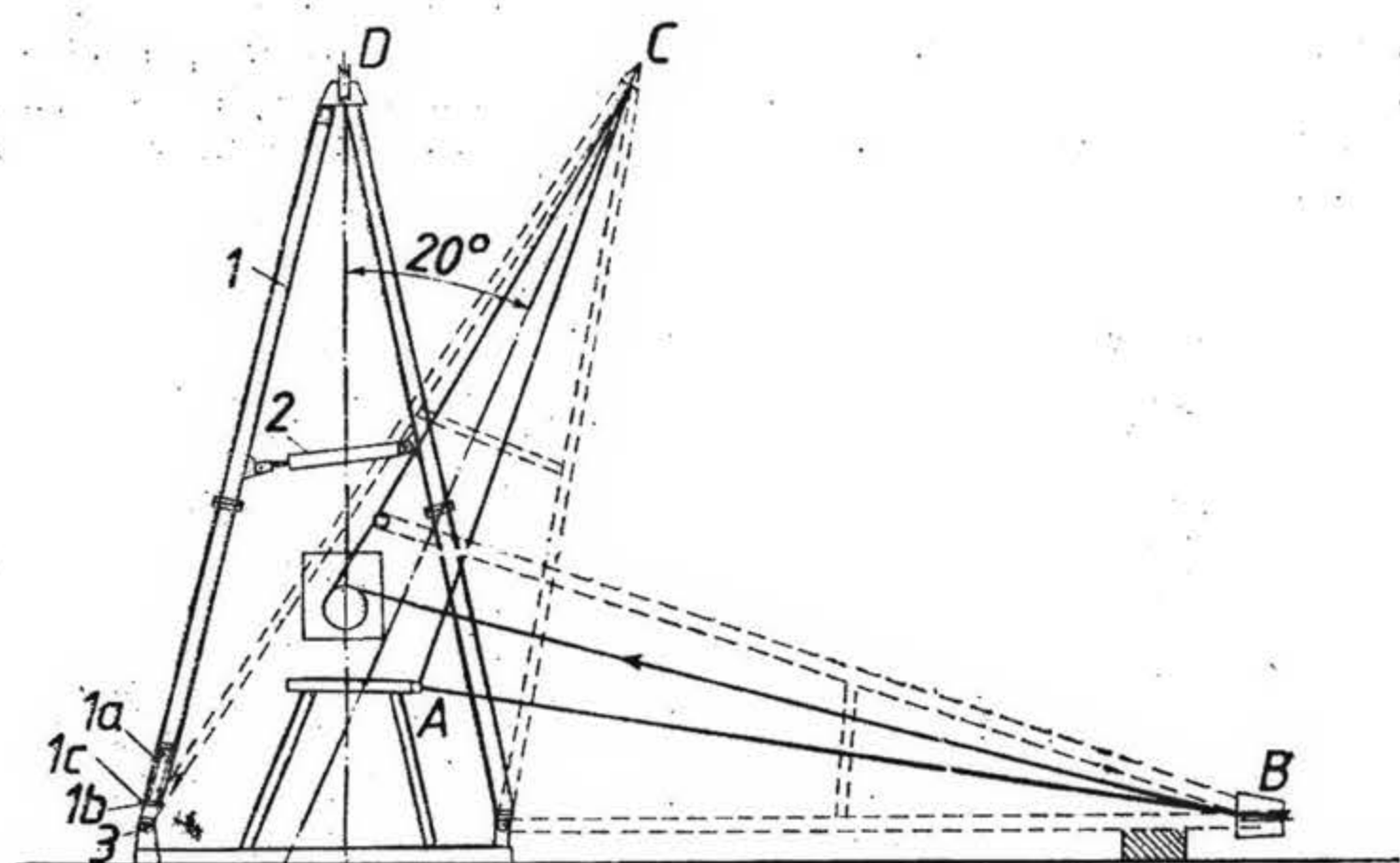


Fig. XI.127. Schema de ridicare a mastului instalației SG-150 :

1 — montant; 2 — suport; 3 — bolț; A — suport; B, C, D — diferite poziții ale mastului în cursul ridicării.

Tabelul XI.47

Caracteristicile masturilor pentru sondeze

Caracteristici principale	Mărimea mastului						
	M 1,2	M 3,2	M 5	M 8	M 12,5	M 20	M 32
Sarcina maximă (Q) _{max} , kN	12	32	50	80	125	200	320
Sarcina normală la cârlig (Q_n), kN	6,3	20	32	50	80	125	200
Înălțimea liberă a mastului (H), m	3,5	—	12	16,2	—	24	—
Distanța între montanții mastului, m	0,5	—	—	4,0	—	5,0	—
Lungimea maximă a pasului de prăjini, m	3,0	—	9,5	13,0	—	18,	—
Unghiul de înclinare maximă a mastului față de verticală	45°	45°	30°	20°	15°	15°	15°
Instalațiile pe care le echipează mastul	F 1,2	FG 3,2	FG 5	FG 8	FG 12	FG 20	FG 32

3.10. INDICATORI TEHNICO-ECONOMICI ÎN ACTIVITATEA DE FORAJ

Activitatea de foraj este urmărită printr-o serie de indicatori tehnico-economic care pot fi grupați în:

- indici de utilizare;
- indicii procesului tehnologic;
- indicii de consum — recuperajul de carote;
- productivitatea muncii și costurile de producție.

Indicii de utilizare. Stabilesc modul de folosire a instalațiilor de foraj existente în întreprindere. Ei pot fi: *indici de utilizare extensivă*, care reprezintă raportul dintre timpul efectiv, T_{ef} , de funcționare a utilajelor și timpul calendaristic, T_c :

$$i_{ue} = \frac{T_{ef}}{T_c}$$

și *indicii de utilizare intensivă*, care reprezintă raportul dintre metri realizați, M_r și metri planificați, M_p :

$$i_{ui} = \frac{M_r}{M_p}$$

Indicatorii principali intensivi, prin care se urmărește controlul și aprecierea activității de foraj, sînt *vitezele de foraj* care se exprimă prin raportul între metrajul realizat și timp în diferitele lui aspecte, și anume: viteza comercială v_c , viteza mecanică v_m , viteza tehnică v_t și viteza ciclică v_{ci} .

$$\text{Viteza comercială } v_c = \frac{M \cdot 720}{T_p + T_n} \text{ [m/troliu lună],}$$

unde: M reprezintă numărul de metri foraj; T_p — timpul productiv; T_n — timpul neproductiv.

$$\text{Viteza mecanică } v_m = \frac{M}{T_f} \text{ [m/h],}$$

unde T_f este timpul de fund (săpat, carotat).

$$\text{Viteza tehnică } v_t = \frac{M \cdot 720}{T_p} \text{ [m/troliu lună în funcție],}$$

$$\text{Viteza ciclică } v_{ci} = \frac{M}{L_{tr}} \text{ [m/troliu lună în patrimoniu]}$$

unde L_{tr} este troliu lună în șantier sau trust.

În formulă simplă, viteza comercială se poate exprima în funcție de viteza mecanică, cu ajutorul relației:

$$v_c = v_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 720$$

parametrii K_1, K_2, K_3 fiind:

$$K_1 = \frac{T_f}{T_0} = \frac{T_f}{T_f + T_m};$$

$$K_2 = \frac{T_0}{T_p} = \frac{T_f + T_m}{T_p};$$

$$K_3 = \frac{T_p}{T_0} = \frac{T_p}{T_p + T_n}$$

unde: T_m este timpul pentru manevrare; T_0 — timpul operativ; T_c — timpul comercial; T_p — timpul productiv; T_n — timpul neproductiv.

Timpul productiv T_p se compune din

$$T_p = T_f + T_m + T + T_t + T_a,$$

iar timpul neproductiv T_n se compune din:

$$T_n = T_r + T_{rec} + T_s + T_i,$$

unde: T este timpul pentru lărgiri; T_t — timpul pentru tubaj; T_a — timpul pentru operații auxiliare; T_r — timpul pentru reparații și ungeri; T_i — timpul pentru instrumentații; T_{rec} — timpul pentru resăpări, recarotări; T_s — timpul pentru suspendări și opriri.

Din relațiile de mai sus rezultă că viteza mecanică este indicatorul de bază care influențează celelalte viteze de foraj.

Indicii procesului tehnologic. Aceștia exprimă gradul de dezvoltare tehnică într-o anumită perioadă și se referă la:

- metrii foraj cu diferite feluri de energie (electrică, termică, pneumatică);
- metrii foraj cu diferite scule tăietoare (sape, carotiere);
- metrii foraj cu diferite metode (percutant, rotativ).

Indicii de consum. Se referă la cantitatea de materiale, energie etc., consumate pe unitatea de timp, pe unitatea de producție sau pe operația executată. Aceștia se mai pot exprima uneori prin producția realizată pe unitatea de material.

Recuperajul de carote. Prin recuperaj se înțelege raportul între metrii de carote recuperați M_r și metrii carotați M_s , și se exprimă în procente:

$$r = \frac{M_r}{M_s} [\%]$$

Procentul de recuperare variază după felul substanței minerale cercetate.

Pentru zonele noi se prevede un recuperaj de peste 80% pe întreaga adâncime a găurii de sondă. În zonele cunoscute se prevede un recuperaj cuprins între 70 și 80% în formațiunile sterile și între 80 și 100% în zona mineralizată.

Productivitatea muncii. Este un indice de calitate și un factor important în componența costurilor. Productivitatea muncii, W , se exprimă prin raportul dintre metrii foraj M și numărul de muncitori lună, N :

$$W = \frac{M}{N}$$

sau

$$W = \frac{G \cdot v_c}{N} = \frac{v_c}{n},$$

unde: G este numărul de trolii, iar n — numărul de muncitori pe instalație.

De aici rezultă că pentru creșterea productivității muncii este necesară creșterea vitezei comerciale.

Costurile de producție. În forajul de explorare se utilizează următoarea structură a costurilor de producție:

A — *cheltuieli directe*, compuse din:

- materiale;
- manoperă;
- utilaj (amortismente, reparații, combustibil, energie etc.);
- transport și manipulare (utilaje și materiale);
- operații speciale (geofizice);

B — *cheltuieli indirecte*, formate din:

- cheltuieli generale (ale secției și întreprinderii);
- sarcini sociale.

$A + B$ = total cheltuieli de foraj.

Costurile, p , pentru metrul forat sînt date de relația:

$$p = \frac{C}{M}$$

în care: C reprezintă cheltuieli totale înregistrate, lei

M — metrajul realizat, m.

Pentru reducerea continuă a costurilor trebuie crescută productivitatea muncii pe seama creșterii vitezei de foraj, reduse consumurile specifice și cheltuielile generale ale secției și întreprinderii. Toate acestea se pot obține printr-o alegere și utilizare rațională a parcului de instalații de foraj.

3.11. DOCUMENTAREA GEOLOGICĂ A FORAJELOR DE EXPLORARE

La fel ca și în cazul lucrărilor miniere, documentarea forajelor de explorare reprezintă o operație foarte importantă, deoarece este scopul final pentru care se execută acest tip de lucrări.

Documentarea, și în această situație, cuprinde trei etape principale: ridicarea topografică, întocmirea coloanei lito-stratigrafice și probarea substanței minerale utile.

Ridicarea topografică constă în stabilirea coordonatelor locației (găurii de sondă în funcție de punctele geodezice din zonă și trecerea poziției pe hărți și planuri topografice.

Întocmirea coloanei lito-stratigrafice se face pe carnetul de teren sau chiar pe formulare tipărite (fig. XI.128). În acest scop se fac observații atente asupra carotei extrase, detritusului și chiar a fluidului de foraj.

ECHIPA

Profilul geologic

SCARA

Foraj cu carotaj continuu. Unghiul înclinării

Coordonatele reale ale sondei

x

y

z

Foraj începută la terminat la

Documentația începută la terminată la

Nivelul hidrostatic în sondă

Ø sondei [mm]					
Adîncimea cu Ø dat					
Ø coloanei de tubaj [mm]					
Adîncimea coloanei cu Ø dat					

Numărul forma- țiunilor	Recuperaj grafic	Adîncimea [m]	Profil geologic	Adîncimea de extracție [m]	Carota extrasă		Extrac- ția de carotă pe formația dată		Cota abs. a con- tractelor dintre ace	Descrierea rocilor	Grosimea vizibilă a strat. după carotă
					m	%	m	%			

Fig. XI.128. Formularul tip AG 40, Profilul geologic al

GEOLOGICĂ

al sondei nr.

1:

Adîncimea conform jurnalului de foraj

Adîncimea conform măsurărilor de control

Măsurători de deviere a sondei

Desen nr.

Raport anual.....

	NUMELE	SEMNĂTURA	DATA
Şeful echipei			
Întocmit			
Desenat			
Verificat			

Unghiul dintre axa carotei și planul de stratificație	Grosimea reală a stratelor [m]	Numărul eșantioanelor	Luarea probelor		Rezultatele analizelor							Obs.	
			Numărul probei	Intervalul de luare a probelor									
					de la	pînă la	Au [g/t]	Ag [g/t]	Pb [%]	Zn [%]	Cu [%]		S [%]

sondei, pentru întocmirea coloanei lito-stratigrafice.

Observațiile cu caracter geologic trebuie să cuprindă o serie de date cu privire la:

- mineralogie;
- petrografie;
- elemente structurale;
- hidrogeologie;
- substanțe minerale utile etc.;
- locul (intervalul) de prelevare a probelor etc.

Toate detaliile care nu pot fi menționate în cadrul coloanei lito-stratigrafice se trec în carnetul de teren.

Având în vedere cantitatea redusă de material adusă la suprafață, trebuie acordată o foarte mare atenție culegerii datelor geologice, deoarece repetarea documentării este posibilă numai în cazul executării unui nou foraj.

La întocmirea documentației finale se ține seama de rubricile coloanelor tip (fig. XI.128) încercându-se să se treacă datele cele mai precise.

Probarea substanței minerale utile în carote și detritus precum și măsurătorile geofizice în gaura de sondă sunt operații foarte importante care se execută în cadrul explorării. Metodologia acestora este prezentată în secțiunile XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile, respectiv XIII. Carotajul geofizic.

4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DUPĂ NATURA SUBSTANȚEI MINERALE UTILE

După natura substanțelor minerale utile, explorarea poate fi împărțită în:

- explorarea zăcămintelor de minereuri (fier, mangan, zăcămintele de metale rare etc.);
- explorarea zăcămintelor de cărbune;
- explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere și de roci utile;
- explorarea zăcămintelor detritice.

4.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE MINEREURI

În explorarea zăcămintelor de minereuri se iau în considerare trei criterii: mărimea zăcămintului, morfologia zăcămintului și uniformitatea distribuției mineralizației.

De mărimea zăcămintului depinde amplasarea lucrărilor de explorare, complexitatea cercetărilor și raționalizarea lucrărilor pe bază de studii și încercări. În funcție de morfologia zăcămintului și concentrarea mineralizației se stabilește quantumul de lucrări de explorare pe unitatea de rezerve, coeficientul de mineralizare și răspunderea lucrărilor de explorare. De uniformitatea distribuției componentului util și grosimii depinde desimea lucrărilor în vederea realizării unui anumit grad de cunoaștere.

În afara acestor criterii, în practica explorării trebuie să se țină seama de faptul că minereurile, în general, mai conțin, pe lângă metalele principale, și anumite elemente secundare, metale rare și disperse în cantități exploatabile.

Valorificarea complexă, respectiv evidențierea întregului potențial al zăcămintului cercetat, este o condiție de bază a explorării zăcămintelor de minereuri.

4.1.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FIER ȘI DE MANGAN

Explorarea și valorificarea minereurilor de fier și de mangan depind de forma sub care acestea apar în natură (oxizi, carbonați sau silicați), de mărimea conținutului, de tehnologia de extragere și de prezența elementelor dăunătoare. Minereurile ce apar sub formă de oxizi de fier (magnetit, hematit, oligist, goetit etc.), respectiv oxizi de mangan (piroluzit, manganomelan, manganit, vad) se valorifică mai ușor decât carbonații și silicații acestora.

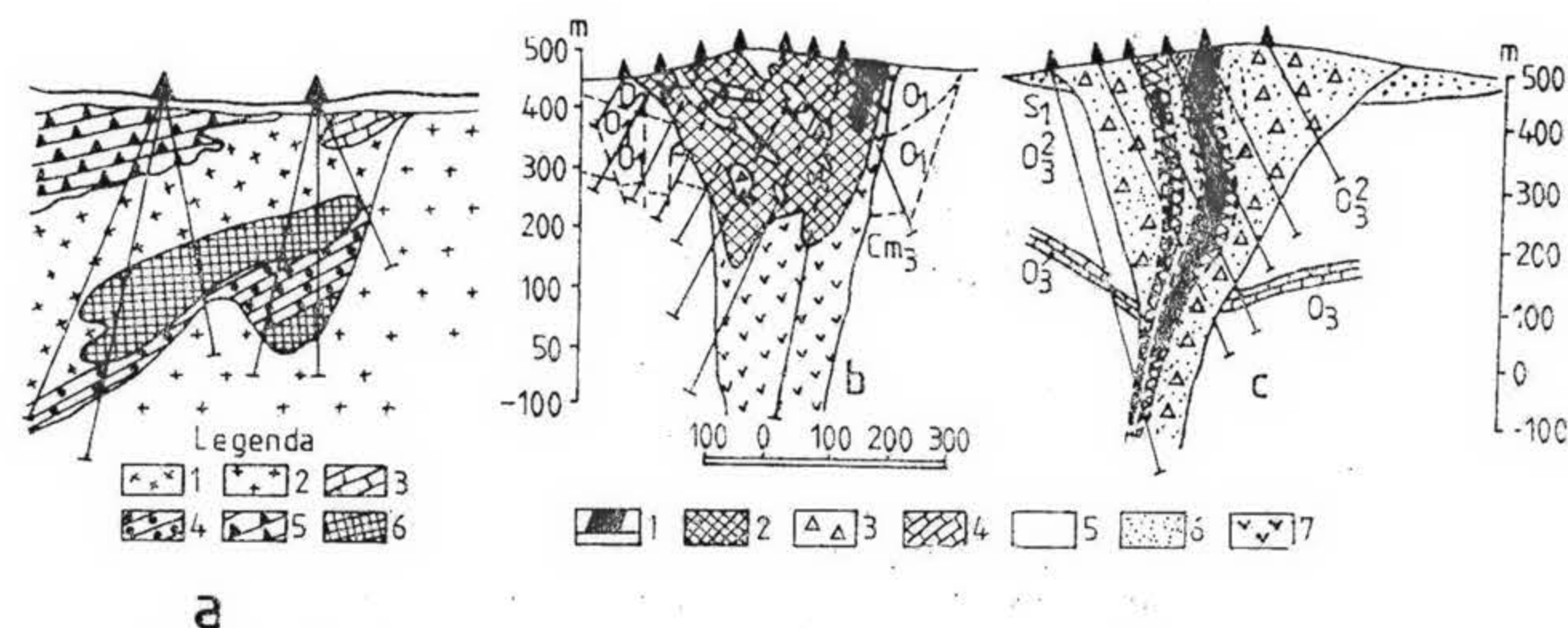


Fig. XI.129. Explorarea prin foraje a unor zăcămintele de minereu de fier:

a — zăcămint cu formă neregulată (1 — granitoid; 2 — granit; 3 — calcar; 4 — calcar grezos; 5 — dolomit; 6 — minereu); b — zăcămint sub formă de stock-work; c — zăcămint de formă tabulară (1 — minereu bogat; 2 — minereu obișnuit; 3 — skarn; 4 — orizont dolomitic; 5 — roci sedimentare; 6 — arcoze; 7 — dacite).

Valoarea minereurilor scade foarte mult când minereul conține elemente dăunătoare, ca: As, S, P, Sb, Cu, Zn, Ba etc., în cantități mari.

Explorarea zăcămintelor de fier. Zăcămintele de fier se prezintă în natură sub forme și mineralizații foarte diferite. Ele apar fie sub formă de corpuri lenticulare în calcare, în roci metamorfice, în skarne, fie sub formă stratiformă în anumite etaje geologice, fie sub formă filoniană sau în aluviuni.

Din punctul de vedere al explorării, zăcămintele de fier se pot grupa în două: *zăcămintele mari*, cu forme și structuri mai puțin complicate, cum sunt zăcămintele lenticulare și cele stratiforme, cu conținuturi de fier cuprinse între 45 și 68% și SiO_2 între 7 și 20% și *zăcămintele mici și mijlocii*, cu forme și structuri mai complicate, cu variații mari de conținut și în parageneză cu alte minerale, sulfuri etc., cum sunt zăcămintele de substituție metasomatică, hidrotermale, de skarne sau segregatie. La acestea, apar, de regulă, zone bogate în fier, zone de amestec și zone de alte minerale utile exploatabile.

Zăcămintele din prima grupă se explorează prin foraje (fig. XI.129), putându-se determina rezerve cu precizie de peste 90% când corpurile de minereu sunt foarte extinse și nu sunt afectate de mișcări tectonice, iar în zonele tectonizate nu pot fi determinate cu precizie mai mari de 80%. Explorarea de detaliu se execută cu lucrări miniere și foraje subterane pentru părțile inferioare situate la adâncime mare de suprafață. În general,

zăcămintele stratiforme de tip oolitic, de carbonați și hidroxizi de fier, care nu prezintă variații de conținut, se explorează prin foraje, cu o precizie de peste 90%.

Pentru zăcămintele din grupa a doua este necesară explorarea amănunțită, în care ponderea cea mai mare o au lucrările miniere de explorare.

Explorarea zăcămintelor de mangan se face în etapa preliminară prin foraje, iar în etapa de detaliu prin lucrări miniere însoțite de foraje subterane de mică adâncime (fig. XI.130). Zăcămintele care apar la suprafață și care urmează să fie exploatare în

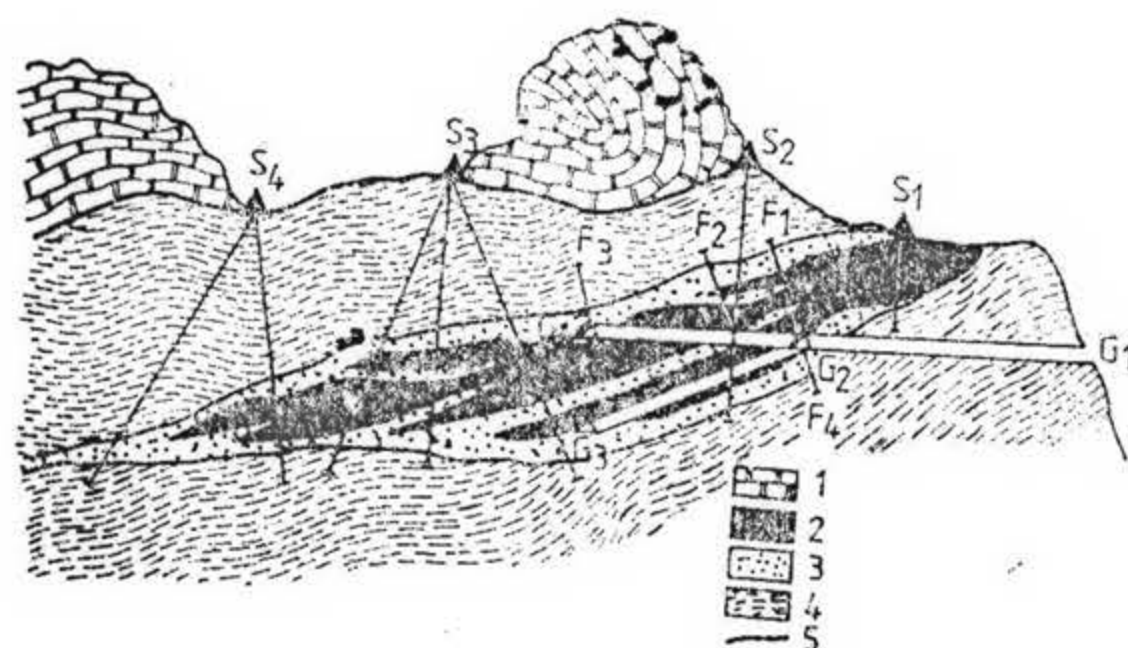


Fig. XI.130. Explorarea unui zăcămint de mangan prin foraje și lucrări miniere:

1 — calcare jurasice; 2 — minereu de mangan; 3 — cuarțite negre; 4 — micașturi; S1...S4 — foraje de explorare executate de la suprafață; G1 — galerie transversală de explorare; G2...G4 — galerii direcționale de explorare; G2—G3 — plan înclinat; F1...F4 — foraje de explorare executate din subteran.

carieră se explorează printr-o rețea de foraje de mică adâncime și cu gabarite mici, 20—50 m.

La explorarea zăcămintelor de mangan trebuie să se țină seama de o serie de particularități ale acestor zăcămint, atât în ceea ce privește rețeaua de explorare, tipul de lucrări cât și metoda de calcul a rezervelor. În toate minereurile, manganul, este însoțit de fier în diferite proporții.

În general minereurile exploatabile de mangan ca și cele de fier apar sub formă de oxizi (piroluzit, manganit, vad etc.) carbonați (rodocrozit etc.) și mai rar silicați (rodonit etc.).

Principalele zăcămint de minereu de mangan se găsesc sub formă de strate în roci sedimentare și vulcanogene sau de lentile în roci metamorfice.

4.1.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE PLUMB ȘI ZINC

Minereul celor două metale se mai numește și *minereu complex* deoarece, de regulă, minereul de Pb are și un conținut de Zn și invers.

Minereurile obișnuite pentru extragerea plumbului și zincului îl constituie sulfurile de tipul galenă, blendă și uneori cu un exces de pirită, având ca minerale secundare: calcopirită, sulfosăruri, stibină, minerale de argint etc.

Zăcămintele de Pb și Zn apar sub formă filoniană, de strate sau de lentile.

Zăcămintele *stratiforme extinse* sau *de impregnații* în lentile se explorează până la adâncimi de 100—300 m prin foraje, iar pentru zone mai adânci explorarea preliminară se face prin foraje și lucrări miniere. Explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere și foraje subterane scurte executate din acestea.

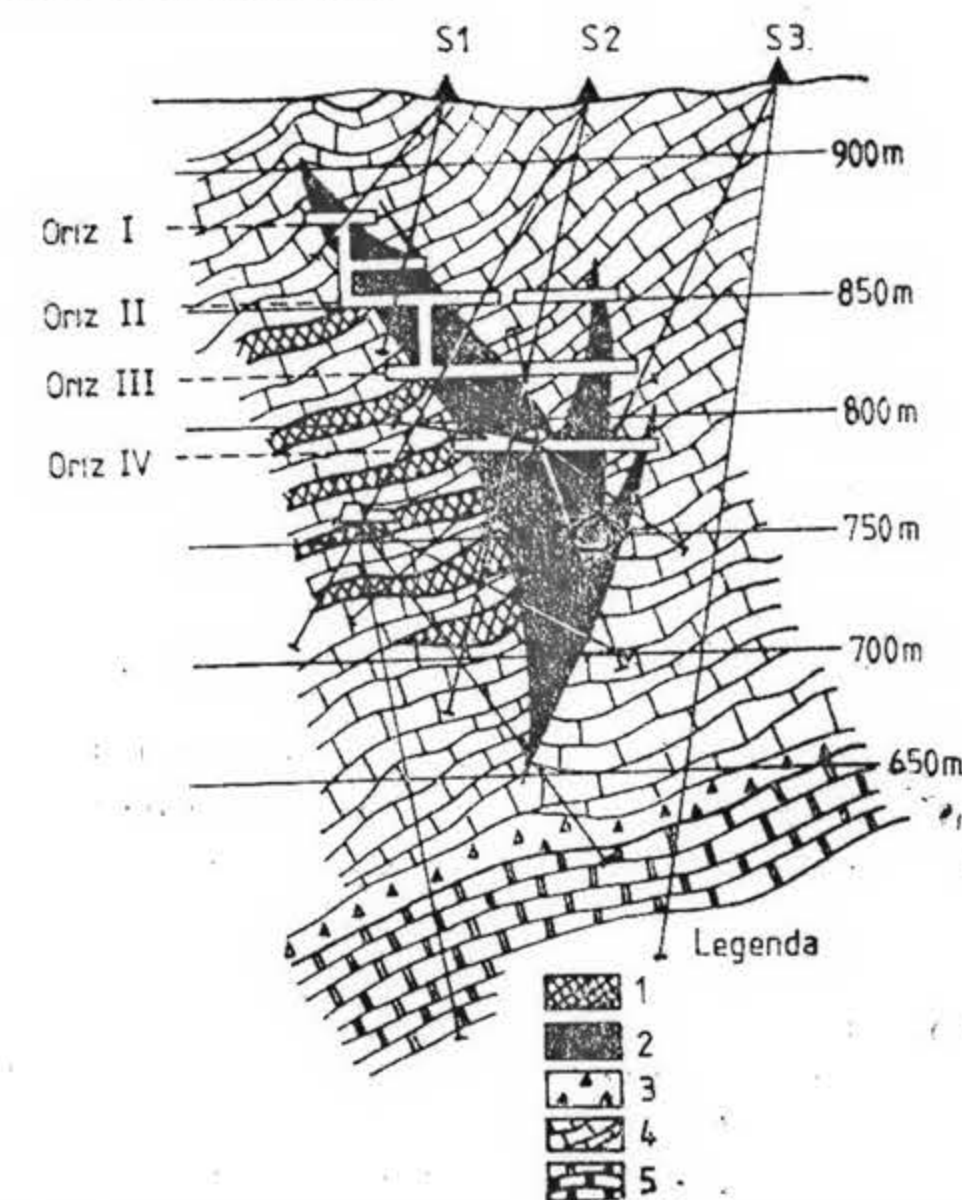


Fig. XI.131. Explorarea unui zăcămint de plumb și zinc prin lucrări miniere și prin foraje scurte și medii:

1 — minereu de zinc; 2 — minereu de plumb; 3 — breșă tectonică; 4 — calcare jurasice; 5 — calcare devoniene; S1...S3 — foraje de explorare executate de la suprafață.

Zăcămintele *filonice* de Pb și Zn se cercetează, de asemenea, prin foraje în faza preliminară de explorare, atunci când se găsesc sub nivelul de bază al regiunii, iar explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere și, de la caz la caz, se completează cu foraje scurte.

Când zăcămintele apar sub formă de *corpuri lenticulare* (fig. XI.131), *stokuri* cuprinse în calcare sau șisturi cristaline sau sub formă de breșii cimentate, ori *impregnații* în zonele de skarn, se recomandă explorarea prin lucrări miniere în faza preliminară și lucrări miniere completate cu foraje scurte în faza de detaliu.

În general, zăcămintele de Pb și Zn, din cauza formei lor mai complicate și a variației conținuturilor metalice, necesită un volum mare de lucrări de explorare, ceea ce mărește costul explorării pe tona de minereu prin comparație cu explorarea zăcămintelor de fier și de mangan.

La determinarea rezervelor, în afară de metalele principale trebuie determinate și conținuturile de metale secundare, metale nobile și metale rare, pentru o evaluare corectă a potențialului zăcămintului.

4.1.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CUPRU

Zăcămintele cuprifere apar sub diferite forme în natură, principalele minereuri fiind constituite din sulfuri în care predomină calcopirita.

Se consideră exploatabile minereurile de cupru până la conținuturi sub 1%, în care se include și cuprul echivalent pentru alte metale extractibile (S, Au, Ag, Pb, Zn, As, Sb, Mo etc.). În mod excepțional, zăcămintele foarte mari se consideră exploatabile la conținuturi până la 0,2% Cu.

Din punctul de vedere al formei se disting zăcăminte cuprifere stratiforme care apar în strate grezoase sau conglomeratice, precum și în șisturi bituminoase, zăcămintele de

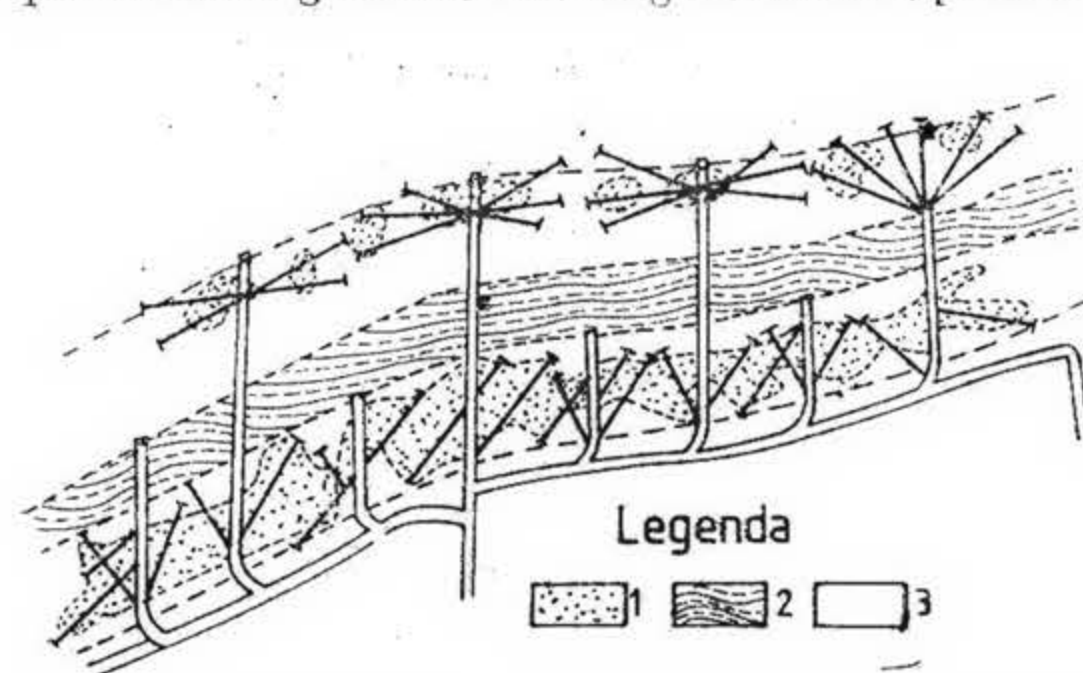


Fig. XI.132. Explorarea unui zăcămint de cupru prin lucrări miniere și foraje scurte orizontale: 1 - minereu cuprifera; 2 - șisturi cloritoase; 3 - șisturi cuarțoase.

formă filoniană sub care apar de regulă mineralizațiile hidrotermale, zăcămintele sub formă de stockuri formate din rețele de fisuri localizate în roci carbonatice sau în roci magmatice metamorfozate și zăcămintele lenticulare legate de roci bazice și ultrabazice sau situate în roci metamorfice. Cu excepția zăcămintelor stratiforme intrastratificate, cu formă puțin variabilă, care se pot explora prin foraje, celelalte tipuri de zăcămintele cuprifere se explorează în toate fazele prin lucrări miniere, însoțite în anumite cazuri de foraje scurte subterane, orizontale sau înclinate sub formă de evantai (fig. XI.132 și XI. 133). Zăcămintele porfirice de cupru se explorează numai prin foraje sau combinat (foraje și lucrări miniere).

Costul explorării este ridicat, datorită volumului mare de lucrări miniere necesare explorării în detaliu a acestor tipuri de zăcămintele.

4.1.4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE AUR ȘI ARGINT

În zăcămintele aurifere, aurul este asociat cu argintul în proporții caracteristice. Aurul apare în majoritatea cazurilor zăcămintelor exploatabile sub formă metalică, necombinat, și numai în cantități foarte mici combinat sub formă de telururi.

Caracteristic zăcămintelor aurifere este variația mare a conținutului de aur. În cuprinsul zăcămintului apar concentrații formând puncte de îmbogățire, în special în zonele în care apar complicații de formă (intersecții de filoane, schimbări de înclinare, distorsiuni, boltiri etc.). Când apare împreună cu alte sulfuri, zonele de concentrații în aur se găsesc la periferia acestora. În numeroase cazuri mineralizațiile aurifere apar în zona superioară a mineralizațiilor de Pb și Zn, în zona periferică a minereului cuprifera sau în zonele de trecere la alte mineralizații.

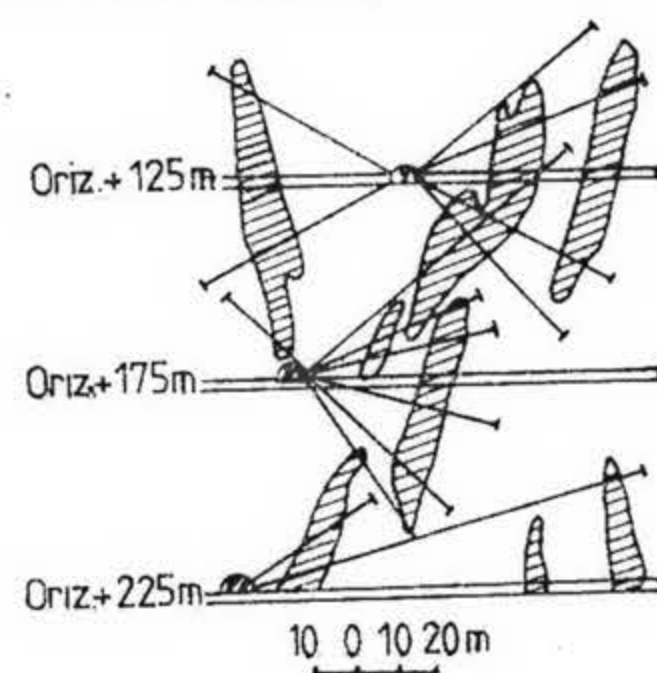


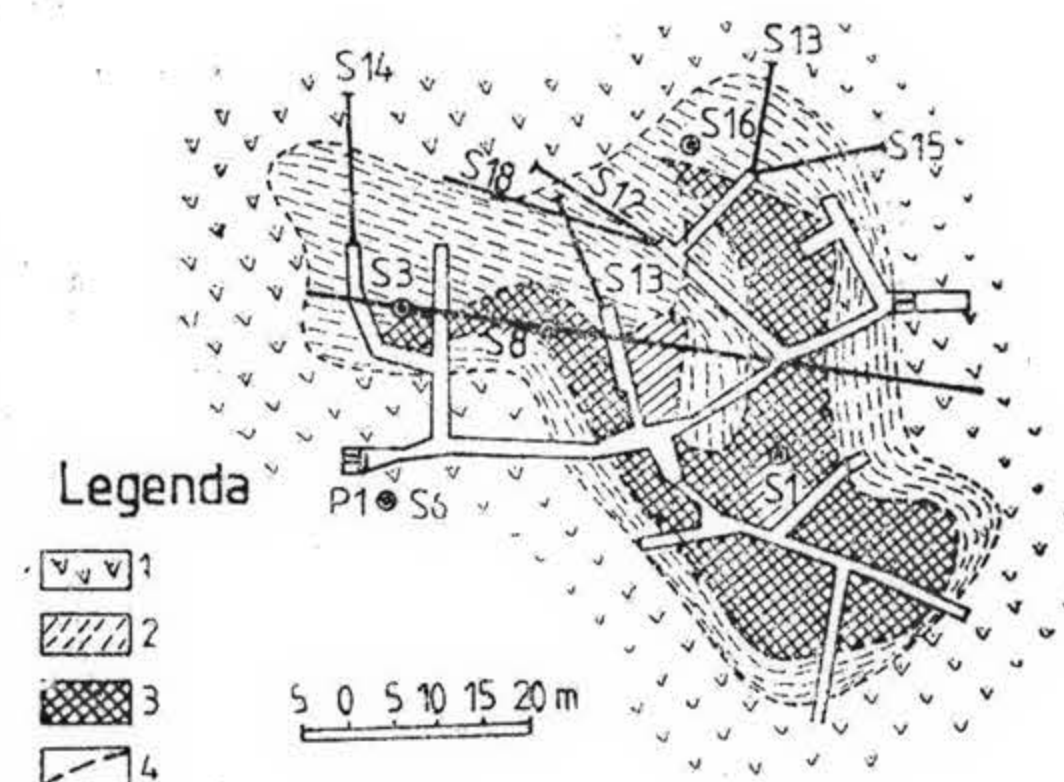
Fig. XI.133. Explorarea unui zăcămint de cupru prin lucrări miniere și foraje în evantai la orizonturi diferite.

Argintul apare în zăcămintele aurifere combinat în sulfosăruri sau legat de galenă.

Zăcămintele primare de aur și argint apar în roci magmatice, sub formă de filoane, stockuri etc., fie în rocile învecinate transformate în colectori, fie sub formă de corpuri riolitice brecifiate, fisurate și cimentate cu cuarț aurifer. Unele din aceste corpuri au aspect tufogen, iar altele au caracter tufitic ori ignibritic sau chiar de riolite regenerare.

Fig. XI.134. Explorarea unui zăcămint aurifer prin lucrări miniere și foraje:

1 - porfire; 2 - șisturi sericitoase; 3 - barietă; 4 - conturul minereului aurifer; S1, S3, S8, S16 - foraje verticale executate de la suprafață; S13...S15, foraje executate din subteran.



Mineralizații aurifere mai pot apărea în cuarțite, gnaise cuarțitice sau în gresii și conglomerate metamorfozate hidrotermale.

În cele mai multe cazuri aurul și argintul apar sub formă de filoane de grosimi variabile, cu structură complexă, sau sub formă de rețele de filonașe grupate destul de compact în lentile mari.

Explorarea, ținând seama de variația mare de conținut și de posibilitatea concentrării mineralizațiilor în zone sau puncte bogate în aur, se face prin lucrări miniere completate uneori, în funcție de forma corpului de substanță minerală utilă, de foraje (fig. XI.134).

Se recomandă să nu se treacă la explorarea de detaliu până nu se cunosc în suficientă măsură condițiile de explotabilitate și până nu se verifică prin faza preliminară ipotezele asupra potențialului zăcămintului. Pentru zăcămintele mici și foarte mici bogate în aur liber, este indicat să se facă explorarea concomitent cu exploatarea.

În general, în exploatare trebuie să se țină seama de distribuția capricioasă a aurului și de faptul că o explorare de detaliu necesită volume foarte mari de lucrări și cheltuieli insuficient justificate.

4.1.5. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE PIRITĂ ȘI DE ALUMINIU

Minereul de pirită se prezintă fie compact, atunci când cristalele de pirită sînt concreșcute între ele, fie sub formă de impregnație, când cristalele sînt împrăștiate în roca colectoare.

Zăcămintele de pirită apar sub formă de strate în depozite sedimentare, sub formă de corpuri lenticulare mari interstratificate în roci metamorfice, sau situate în

roci vulcanice etc., sub formă de corpuri de impregnație în alte roci, de origine hidrotermală sau de substituție metasomatică sau sub formă compactă în sisteme de filoane.

Majoritatea zăcămintelor de pirită au forme complicate și de aceea pentru explorare sînt necesare rețele dese de puncte de interceptare. Explorarea preliminară se face prin lucrări miniere.

Bauxita reprezintă minereul caracteristic pentru extragerea aluminiului. Ea este constituită dintr-un amestec de oxizi hidratați de aluminiu — diaspor, bohemit, hidragilit — cu oxizi de fier, oxizi de titan, clorite, argile etc.

Zăcămintele de bauxită apar fie sub formă de corpuri cu contururi complexe, rezultînd din umplerea unor carsturi în calcare, fie sub formă lenticulară, dispuse interstratificat în sedimente subacvatice (fig. XI.135).

Mărimea corpurilor este diferită — de la cuiburi mici de ordinul sutelor de tone pînă la depozite de milioane de tone.

Explorarea se face prin foraje și lucrări miniere. Forajele se folosesc în cazurile în care depozitele acoperitoare au grosimi mari, cercetarea efectuîndu-se pe aliniamente așezate la distanțe corespunzătoare condițiilor locale de zăcămint.

4.1.6. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE METALE RARE

În categoria metalelor rare sînt cuprinse metale mai puțin comune. Ele pot fi împărțite în trei grupe: 1) metale necesare industriei curente (mercur, stibiu și arsen; crom; nichel și cobalt, staniu și wolfram; molibden și bismut; vanadiu, titan); 2) metale cu utilizări speciale (berliu, litiu, tantal, niobiu, zircon, hafniu, cadmiu, germaniu, indiu, galiu, talu, seleniu, telur și T.R); 3) metale radioactive (uraniu și thoriu) și metale din grupa platinei (platin, osmiu, iridiu și paladiu).

4.1.6.1. Explorarea zăcămintelor de metale necesare industriei curente

Explorarea zăcămintelor de mercur, stibiu și de arsen. Zăcămintele acestor metale prezintă aceleași caracteristici și de aceea și metodele de explorare sînt identice.

Minereurile obișnuite pentru mercur sînt cele cu cinabru, considerate exploatabile la un conținut mediu ce poate coborî sub 0,1%; pentru stibiu minereurile cu stibină cu conținut mediu minim de circa 2% Sb, iar pentru arsen, minereul cu sulfuri (realgar, auripigment, mispichel) cu un conținut mediu minim de circa 4% As.

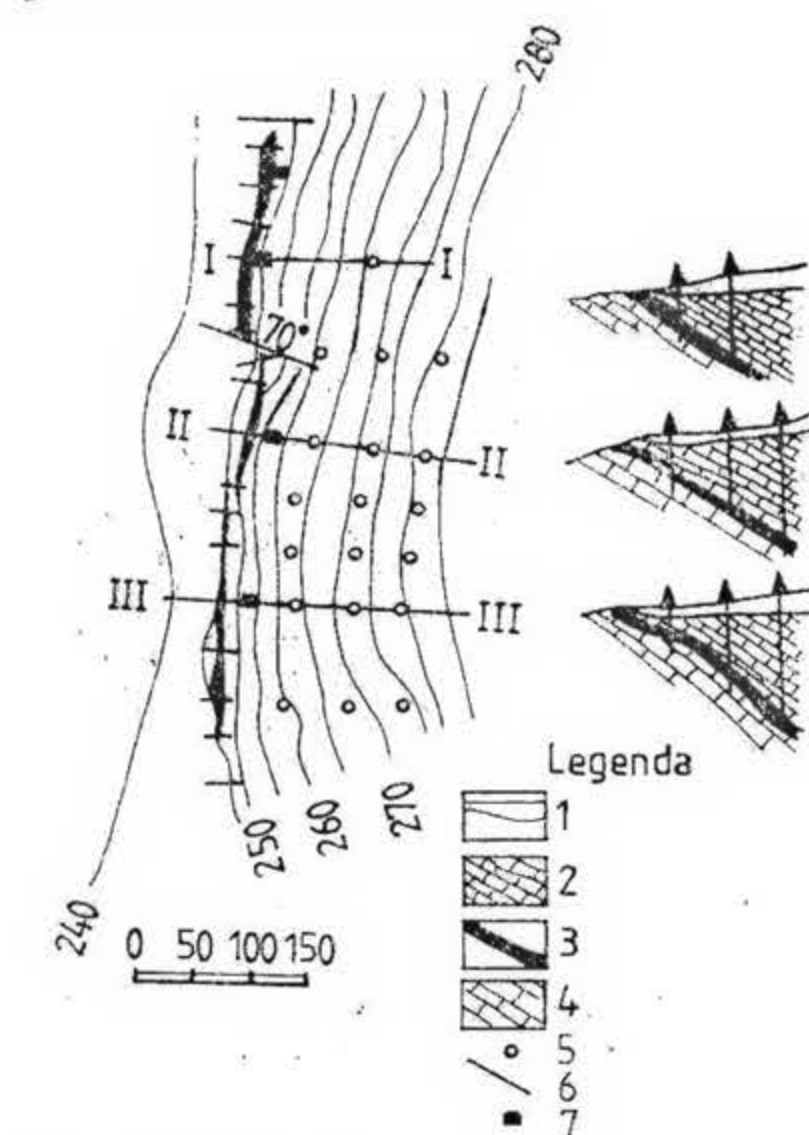


Fig. XI.135. Explorarea unui zăcămint de bauxită prin foraje de la suprafață:

1 — sol, 2 — calcare sarmatiene; 3 — bauxită; 4 — calcare cretacee; 5 — locațiile forajelor; 6 — șanțuri; 7 — puțuri de mină.

Zăcămintele de mercur sînt rare și apar de regulă sub formă de impregnații de cinabru în roci poroase sau foarte fisurate. Zona mineralizată prezintă unele puncte sau sectoare cu îmbogățiri, localizate în special în planele de încălecare, în bolta anticlinalelor și în porțiunile foarte fisurate. Uneori cinabru apare în lentile de limonit și hematit, iar în alte zăcămintele el este însoțit de minerale de stibiu și arsen (stibină, realgar, tetraedrit etc.).

Rocile în care apar cantonate mineralizațiile cinabrifere sînt roci sedimentare grezoase, conglomeratice, alternînd cu șisturi cutate și fracturate. Mineralizația este de tip hidrotermal sau de substituție metasomatică. Uneori mineralizația de cinabru apare și în tufuri și breccii vulcanice dislocate și fisurate.

În explorare se ține seama în primul rînd de caracterul, structura și tectonica rocii colectoare.

Pentru aceasta explorarea se face printr-o rețea de foraje de mică adîncime combinată cu lucrări de suprafață și scurte galerii. După confirmarea datelor cerute în faza explorării preliminare pregătitoare se continuă explorarea preliminară principală prin lucrări subterane combinate, de la caz la caz, cu foraje de mică adîncime.

În ceea ce privește stibiul și arsenul, acestea formează zăcămintele mici și de importanță economică redusă care nu pun probleme din punctul de vedere al explorării. Dat fiind faptul că atât stibiul cît și arsenul apar în cantități mari asociate cu minereurile complexe, odată cu explorarea zăcămintelor de minereuri complexe se urmăresc și mineralizațiile de stibiu și arsen, cunoscut fiind că acestea apar predominant în zonele periferice mineralizațiilor complexe.

Explorarea zăcămintelor de nichel și de cobalt. Minereurile nichelifere și cobaltifere apar în natură sub formă de strate, de corpuri lenticulare de impregnație și filoane. Mai apar în minereurile complexe sau cuprifere ca metale secundare în parageneză cu Bi, Ag și U în zăcămintele primare reprezentate prin arseniuri și sulfoarseniuri sau sulfuri. De asemenea, apar ca produse reziduale pe roci ultrabazice și dolomitice prin bazine de concentrare.

Cînd se prezintă sub formă de strate, între acestea apar zone lateritice cobalto-nichelifere, asociate cu mineralizații cuprifere. Sub formă de rețele complexe de vinișoare de minereu cu caracter hidrotermal, apare nichelul și cobaltul în strate colectoare bituminoase cu caracter organogen.

Sub formă de corpuri lenticulare, mineralizația cu nichel și cobalt apare în norite, gabrouri, peridotite etc., la contactul serpentinelor sau în rocile înconjurătoare. Cînd apar sub formă filoniană sînt cuprinse în șisturi bituminoase sau în rocile bazice și ultrabazice.

Zăcămintele stratiforme situate aproape de suprafață se explorează prin lucrări miniere ușoare: șanțuri, puțuri de mină și care uneori se completează cu foraje de mică adîncime.

Zăcămintele lenticulare și filoniene se explorează de obicei cu rețele de foraje a căror aliniamente se amplasează la distanțe mari în exploatarea preliminară pregătitoare, care apoi se completează, în faza următoare de explorare, cu lucrări miniere și foraje de mică adîncime executate din subteran (fig. XI.136).

Explorarea zăcămintelor de crom. Minereul de crom îl constituie cromitele cu amestec de spineli de magneziu și spineli de fier.

Cromitele apar sub formă de pungi, de lentile stratiforme sau cuiburi de diferite dimensiuni, răspîndite în roci ultrabazice. Rocile obișnuite în care se găsesc corpurile și cuiburile de cromit sînt serpentinite alterate și dezagregate. De cele mai multe ori conținutul cel mai ridicat de crom se găsește în partea centrală a corpurilor și cuiburilor și scade spre periferia acestora.

În explorarea zăcămintelor de crom trebuie să se țină seama de aceste aspecte și de faptul că adeseori mineralizația se găsește închisă în mase mari magmatice, mai mult sau mai puțin serpentinizate, sub formă de cuiburi izolate fără legătură între ele și care nu pot fi detectate prin metodele geofizice. Ca primă indicație trebuie observate compoziția și structura rocilor înconjurătoare. Pe baza acestor date se trece la explorarea prin foraje sau prin galerii de coastă. Mineralizațiile întâlnite, dat fiind caracterul lor izolat, trebuie explorate sistematic, folosind cercetarea prin traversări

în cruce în locul urmăririi pe contur. Urmărirea pe verticală se face cu foraje sau lucrări miniere — suitori și coboritori.

Explorarea zăcămintelor de staniu și de wolfram. Zăcămintele de staniu și wolfram pot fi sub formă filoniană sau aluvionare. Sub formă filoniană apar în zonele marginale sau periferice ale granitelor, având ca minerale casiterita și wolframitul.

Sub formă aluvionară apar în special zăcămintele bogate în casiterită. Se consideră exploatabile aluviunile la un conținut de la 0,5 kg/m³ în sus. Aluviunile cu conținut de wolfram sînt mai reduse. Unele aluviuni se explorează și se exploatează simultan pentru ambele metale. Explorarea se face cu foraje în rețele de 50 x 100 m. În prealabil se execută foraje de referință

Explorarea de detaliu se face cu lucrări miniere.

Zăcămintele cu conținut de staniu mai mic, dar cu mai mult wolfram sub formă de scheelit, apar în skarne și în pegmatite.

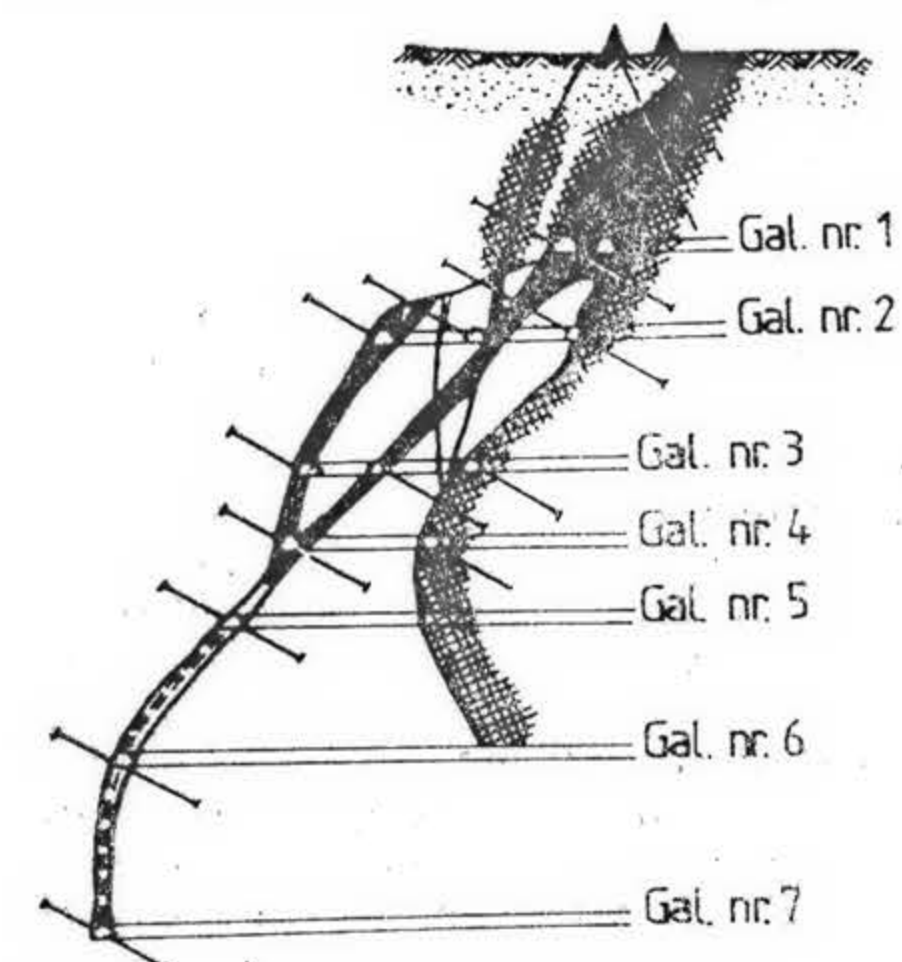


Fig. XI.136. Explorarea unui fipon nichelifer prin foraje și lucrări miniere.

Explorarea preliminară a skarnelor și a pegmatitelor cu scheelit sau cu casiterit se face de regulă prin foraje de referință, iar explorarea preliminară principală și de detaliu prin lucrări miniere și foraje dirijate.

Explorarea zăcămintelor de molibden și de bismut. Mineralizațiile de molibden ca și cele de bismut apar sub formă de impregnații, vinișoare, filonașe sau lentile mici de molibdenit și bismutină.

Atît molibdenul cît și bismutul mai apar în filoane de cuarț și carbonați, alături de mineralizații de plumb, zinc, cupru și pirită.

Zăcămintele de bismut apar sub aceleași forme ca și zăcămintele de molibden, fiind însoțite întotdeauna și de alte minereuri. De regulă mineralizațiile de bismut constituie zone îmbogățite de bismut, ale unor zăcămintele de skarn.

Explorarea se face prin foraje combinate cu lucrări miniere.

Explorarea în zonele de alterație ale unor zăcămintele de bismut în skarn se face prin lucrări de suprafață, iar în adîncime prin foraje.

Cînd apar sub formă de filoane, lentile etc., au contur foarte complicat și o distribuție foarte neuniformă în componenți utili și de aceea și explorarea este dificilă. În asemenea cazuri este indicată explorarea prin lucrări miniere.

Explorarea zăcămintelor de vanadiu. Minereurile caracteristice de vanadiu constituite din sulfuri apar sub formă de lentile sau filoane prinse în roci sedimentare bogate în hidrocarburi și traversate de dike-uri de roci eruptive. Acestea sînt rare.

Minereuri frecvente sînt cele de vanadați, care apar în pâlăriile de fier ale unor zăcămintele de plumb și zinc sau de cupru.

Explorarea trebuie adaptată la specificul fiecărui zăcămint.

Lucrările de explorare preliminară au ca prim scop să delimiteze în mare zonele cu grosimi și conținut interesant. Cînd mineralizațiile sînt localizate în gabourile cu magnetit, se execută foraje în faza preliminară, pentru verificarea anomaliilor magnetice sau a ipotezelor privind extinderea zăcămintului. Cînd zăcămintul este omogen și la adîncimi ce nu depășesc 300 m, explorarea preliminară se face prin foraje, iar explorarea de detaliu prin lucrări miniere de suprafață.

Explorarea zăcămintelor de titan. Minereurile obișnuite pentru extragerea titanului sînt cele de rutil și ilmenit.

Zăcămintele primare au forme tabulare cu conținut ridicat în ilmenit și puțin magnetit.

Explorarea maselor tabulare a dike-urilor, a lentilelor și a filoanelor cu ilmenit, apatit și rutil se face în urma unor studii detaliate privind structura și răspîndirea corpurilor eruptive. Explorarea preliminară începe cu foraje de referință, după care se continuă în fazele următoare explorarea prin lucrări miniere.

Zăcămintele importante de titan și ușor de exploatat sînt cele aluvionare. Aluviunile cu rutil sau ilmenit pot fi valorificate la un conținut sub 10 kg/m³, mai ales atunci cînd din ele se valorifică și alte elemente ca: aur, magnetit, zircon etc. Explorarea aluviunilor titanifere se face prin foraje de mică adîncime, amplasate pe alinamente transversale așezate la distanțe de peste 1000 m în explorarea preliminară regătitoare, de pînă la 200 m în explorarea preliminară principală și la distanță de 50 m în explorarea de detaliu.

4.1.6.2. Explorarea zăcămintelor de metale rare cu utilizări speciale

Aceste metale se caracterizează prin proprietăți tehnologice deosebite și utilizări speciale în tehnica temperaturilor înalte, în radiotehnică, tehnica nucleară etc. Din această grupă fac parte cadmiul, indiumul, galiul, seleniul, beriliul, litiul, niobiul și tantalul, zirconiumul și telurul. Unele din acestea nu au minereuri proprii, apărînd fie în amestecuri izomorfe, fie în minerale comune (blendă, galenă etc.) sau sînt minerale însoțitoare ale unor minerale metalifere.

Alte metale rare cu utilizări speciale au minereuri proprii și apar asociate în unele pegmatite, apatite, carbonatite sau în zonele periferice ale unor intruziuni de granite sau de roci alcaline.

Explorarea zăcămintelor de beriliu. Mineralul din care se extrage este oxidul de beriliu, care formează cu roca minereul propriu.

Concentrațiile de beriliu formează zone în pegmatitele bogate în cristale mari. În anumite granite, beriliul poate fi un constituent normal, cu răspîndire uniformă, și exploatabil în unele zone. El mai poate apărea în filoane sau stockuri cu caracter pneumatolitic-hidrotermal, în anumite skarne în calcare, la contactul acestora cu intruziunile granitoide.

Explorarea minereului de beriliu se face împreună cu a altor minerale sau metale rare din pegmatite. Prin lucrări se determină zonalitatea, extinderea și structura corpului de pegmatit, folosind lucrări de suprafață și foraje de referință. Explorarea preliminară și de detaliu se face numai prin lucrări miniere la gabarit mic

(șanțuri și puțuri, fig. XI.137; galerii de coastă și transversale scurte, fig. XI.138). O deosebită atenție trebuie acordată probării.

Explorarea zăcămintelor de niobiu și tantal. Niobiul are diferite utilizări în tehnica nucleară, iar tantalul ca înlocuitor al platinei. Minereurile lor conțin minerale de niobotantalitați (tantalit, piroclor etc.). Se consideră valorificabile minereurile cu conținuturi de peste 0,02% Nb + Ta.

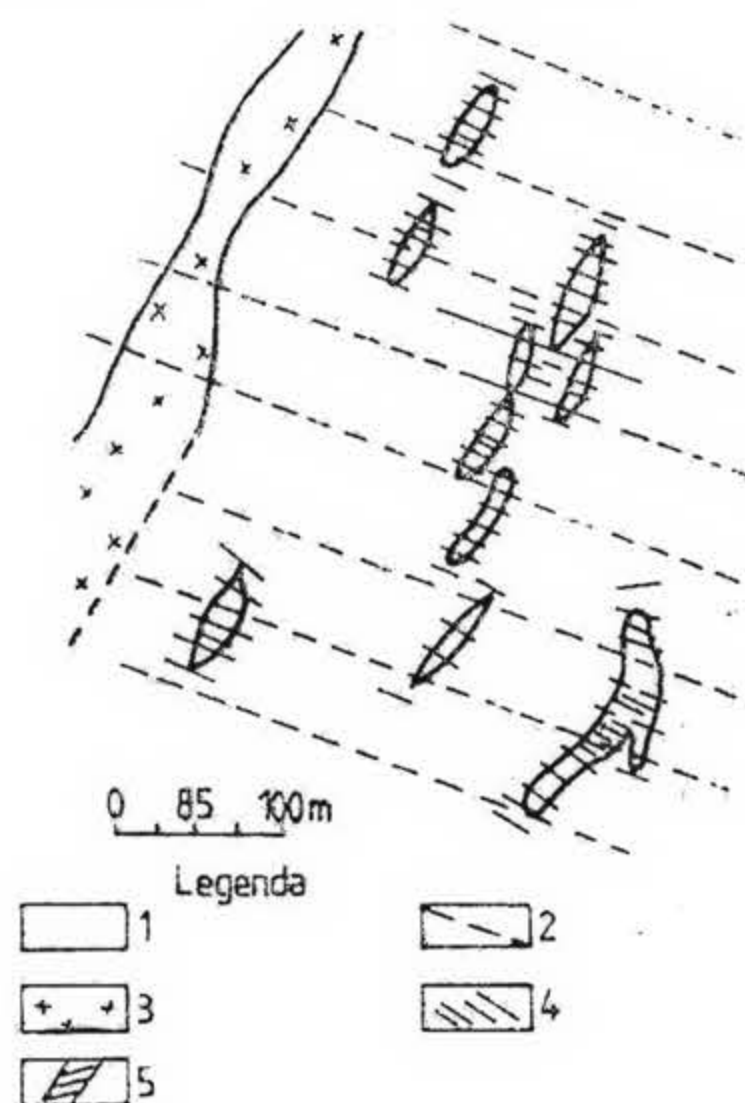


Fig. XI.137. Explorarea zăcămintelor de beriliu prin lucrări miniere: 1 - gnaise; 2 - aliniamente de puțuri; 3 - granite; 4 - șanțuri; 5 - pegmatite cu beriliu.

Niobotantalitații apar în granitoide, de obicei în pegmatitele granitice în care se găsește și beriliul. Metodologia de explorare este aceeași, fie că niobotantalitații apar în zone diferite, fie că apar împreună cu beriliul.

Zăcămintele importante de niobiu și tantal apar, de asemenea, în aluviunile din zona unor sienite.

Explorarea zăcămintelor de zirconiu și de hafniu. Aceste metale au utilizări în construcția utilajului și aparaturilor de temperatură înaltă sau anticorrosivă, în electrotehnica etc.

Cele mai interesante zăcămintele primare cu conținut uneori peste 1% apar în anumite zone ale unor sienite nefelinice sau în pegmatitele lor, în special în carbonatite.

Cele mai importante zăcămintele pentru extragerea zirconiului și hafniului sînt zăcămintele aluvionare.

Metallul mai poate fi obținut ca produs secundar din aluviunile cu monazit.

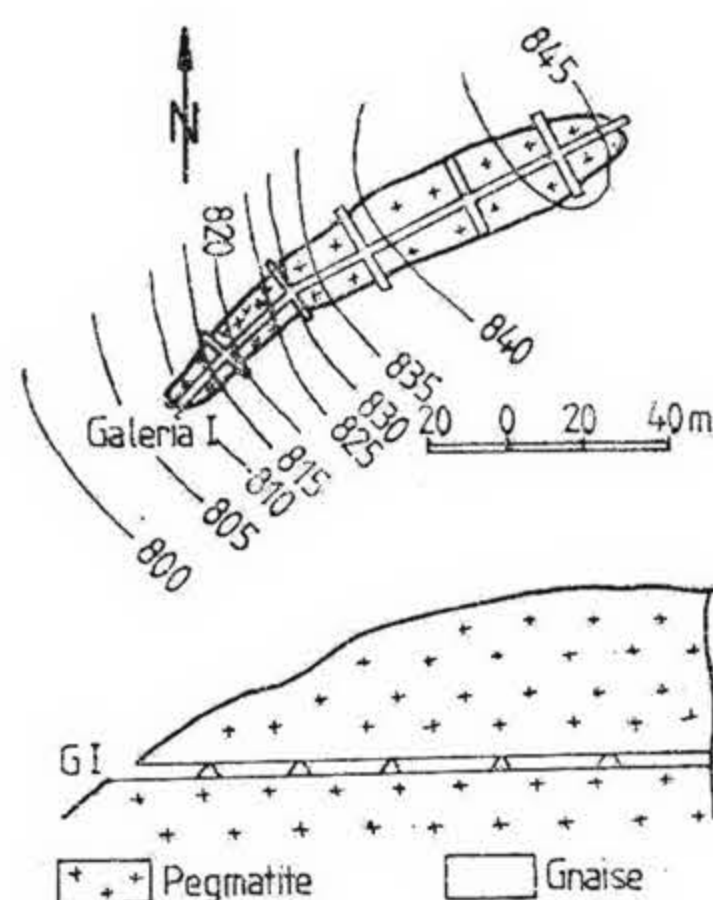


Fig. XI.138. Cercetarea pegmatitelor prin lucrări miniere subterane.

Explorarea zăcămintelor primare, respectiv a pegmatitelor, a unor zone din rocile alcaline a carbonatitelor și filoanelor exploatabile pentru zircon, se face după aceeași metodologie ca și în cazul beriliului, niobiului și tantalului.

4.1.6.3. Explorarea zăcămintelor de metale radioactive

În această grupă sînt cuprinse uraniul, thoriul și TR (lantanidele). Mineralele acestora se prospectează prin măsurări radiometrice și se urmăresc prin aceleași metode și în lucrările de explorare.

Zăcămintele de uraniu apar în condiții foarte diferite ca formă (lentile, impregnații, filoane) și mineralizare.

Explorarea zăcămintelor uranifere este în general dificilă și necesită un volum foarte mare de lucrări, dată fiind lipsa de legătură dintre diferitele corpuri mineralizate sau între filoanele ce prezintă îmbogățiri pe anumite zone.

În explorare este indicat să se urmărească controlul mineralizației, colecții petrografice și cei structurali și mai ales extinderea lor. Explorarea preliminară și cea amănunțită se face prin lucrări de suprafață (șanțuri, puțuri) și prin lucrări subterane (galerii scurte de coastă, galerii direcționale) și prin foraje, toate controlate în mod permanent cu radiometrul.

În ceea ce privește thoriul, sursa principală este reprezentată de monazite, de piroclor și de anumiți oxizi complecși care cuprind minerale de ceriu și TR.

Mineralizațiile cu monazite apar sub formă de impregnații în anumite zone ale masivelor granitice, dar mai ales în unele corpuri magmatice alcaline denumite zone TR.

Ca și celelalte metale rare cu utilizări speciale, thoriul și TR (monazite) se exploatează în cea mai mare parte din aluviuni a căror explorare se face prin foraje.

4.1.6.4. Explorarea zăcămintelor de metale din grupa platinei

Din această grupă fac parte: osmiul, iridiul, ruteniul, radiul și paladiul, care apar fie sub formă liberă sau aliate între ele, fie aliate cu fier, aur și nichel și mai rar sub formă de arsenuri, sulfuri sau stibiuri.

Sursa petrografică pentru aceste metale o constituie rocile ultrabazice, atît zonele de segregatie magmatică de tipul noritelor, cît și coșurile de dunite în care apare platina fin diseminată.

Explorarea platinei și a mineralelor din grupa sa se face în aluviuni, care reprezintă principala sursă de producție pentru aceste elemente.

4.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Indiferent de domeniul de utilizare, cărbunii trebuie obținuți la costuri cît mai reduse. În acest scop cheltuielile de explorare trebuie să fie reduse prin aplicarea metodelor de explorare corespunzătoare condițiilor de zăcămint, iar cheltuielile de exploatare, de asemenea reduse, prin aplicarea unor metode de mare productivitate

4.2.1. CLASIFICAREA ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI DIN PUNCTUL DE VEDERE AL EXPLORĂRII

Clasificarea cărbunilor sub aspectul explorării are la bază următoarele criterii: mărimea, structura, constituția și calitatea.

După criteriul *mărimii*, se împart în:

- zăcămintele foarte mari, cu rezerve exploatabile de peste 100 mil. tone;
- zăcămintele mari, cu rezerve exploatabile între 20 și 100 mil. tone;
- zăcămintele mijlocii, cu rezerve exploatabile între 5 și 20 mil. tone;
- zăcămintele mici, cu rezerve exploatabile între 0,6 și 5 mil. tone;
- zăcămintele foarte mici, cu rezerve exploatabile sub 0,6 mil. tone.

După criteriul *structural*, se împart în:

- zăcămintele slab ondulate, stratiforme cu înclinări mici, nefaliate sau foarte puțin faliate;
- zăcămintele cutate și faliate dar cu stratificația și elementele de poziție ale straturilor bine distincte;

— zăcămintele cu structură geologică complicată, intens cutate și faliate, sub formă de corpuri sau lentile, variate ca dimensiuni și poziție.

După criteriul *constituției*, se împart în:

- zăcămintele uniforme, cu grosimea și calitatea cărbunilor foarte puțin variabile;
- zăcămintele variabile, cu grosimea și calitatea variabile în limitele exploatabilității;
- zăcămintele foarte variabile, cu grosimea foarte variabilă, având îngroșări, lăminări și cu calitatea foarte diferită, depășind limitele de calitate.

După criteriul *calității*, clasificarea are la bază încadrarea cărbunilor în clasificările industriale.

Prin explorare, în cazul zăcămintelor foarte mari și mari, pe baza datelor prospecțiunii, se delimitează un perimetru de explorare ținând seama de tema dată, de capacitatea de lucru etc., folosind ca limite naturale geologice (fracturi, contacte etc.) sau limitele geografice (riuri, căi de comunicație, localități etc.)

4.2.2. CARACTERISTICILE GENERALE ALE EXPLORĂRII ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Zăcămintele de cărbuni apar, în general, sub formă de strate intercalate în formațiuni sedimentare caracteristice, bine dezvoltate, ceea ce are repercusiuni favorabile atât asupra metodelor de explorare cât și asupra volumului acestora.

Explorarea preliminară pregătitoare este mai dezvoltată în cazul cărbunilor decât pentru celelalte substanțe minerale, deoarece ea trebuie să completeze datele care în mod natural se obțin în prospecțiunea de detaliu și care se face în mai mică măsură sau nu se execută deloc în cazul cărbunilor.

Pe de altă parte, explorarea preliminară principală trebuie să furnizeze un volum suficient de date pentru ca să se poată proiecta exploatarea. De aceea, explorarea preliminară principală trebuie să aibă la bază un proiect general care să poată fi readaptat sistematic după noile date obținute pe parcurs.

În final explorarea preliminară trebuie să rezolve:

- geologia de amănunt a formațiunii carbonifere;

— geologia regiunilor vecine, dinamica formării bazinului etc.;

— calitatea și grosimea straturilor de cărbuni în aflorimente, extinderea și variația grosimii straturilor de cărbuni.

Cu excepția explorării de detaliu, lucrările de explorare preliminară se fac aproape exclusiv prin foraje. Punctele de interceptare sînt așezate pe aliniamente ce formează rețele regulate pătrate sau triunghiulare și care sînt orientate perpendicular pe direcția accidentelor structurale, cute și falii.

Numai în cazul cînd explorarea preliminară prin foraje nu poate clarifica în suficientă măsură structura din cauza tectonizării pronunțate, a adîncimii mari etc., se recurge parțial la lucrări miniere însoțite de foraje subterane.

Pentru a avea o dozare rațională a lucrărilor de explorare se recomandă să se traseze pe harta bazinului o rețea regulată de locații de foraje la distanțele maxime, denumită *rețeaua fundamentală* și față de acestea să se amplaseze, în funcție de necesități, noi locații. Se vor evita rețelele de desime mare pentru adîncimi mai mari de 500 m.

Explorarea de detaliu a cărbunilor este indicată numai în măsura realizării gradului de asigurare a extracției.

4.2.3. FAZELE ȘI SPECIFICUL EXPLORĂRII ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

În ceea ce privește fazele de explorare ele sînt aceleași, dar diferă comparativ cu alte substanțe, prin felul lucrărilor de explorare și ponderea lor în procesul de cercetare a cărbunilor.

Explorarea preliminară. În majoritatea cazurilor explorarea zăcămintelor de cărbuni începe pe baza unor date sumare asupra regiunii și asupra zăcămintului; de aceea, prin metodologia și etapele de lucru trebuie să se asigure obținerea tuturor datelor necesare întocmirii proiectului de explorare preliminară principală și în cele din urmă o evaluare cât mai precisă a rezervelor zăcămintului.

— *Explorarea preliminară pregătitoare.* În această subfază este necesar să se completeze datele prospecțiunii, în ceea ce privește precizarea așezării, formei, extinderii și parametrilor calitativi ai zăcămintului, cu ajutorul unor lucrări ușoare.

Dacă nu s-au efectuat cercetări suficiente este necesar să se întocmească harta topografică de detaliu la scara 1:10 000 sau cel puțin 1:25 000, harta geologică de detaliu la scara 1:10 000 și secțiuni caracteristice prin bazinul carbonifer și formațiunile din fundament. Lucrările de completare a cartării și prospecțiunii, spre deosebire de prospecțiune, au în subfaza explorării preliminare un caracter specific explorării în sensul că ele trebuie să verifice ipoteza extinderii zăcămintului.

Pentru zăcămintele cu structură complicată, la care forajele nu pot furniza date suficiente, cum sînt zăcămintele de cărbuni superiori care sînt frămîntate și intercalate în structuri complexe, ele se înlocuiesc în parte cu lucrări miniere sau lucrări combinate.

— *Explorarea preliminară principală.* Această subfază se caracterizează printr-un volum mare de lucrări grele. Date fiind atât tehnica specială de execuție a acestor lucrări cât și costul lor ridicat, este necesar ca metodica lucrărilor să fie stabilită pe baza unui studiu tehnico-economic în mai multe variante și în care să se țină seama

de posibilitatea folosirii lucrărilor în faza următoare de explorare sau în faza de exploatare.

Ținând seama de criteriile de clasificare a zăcămintelor de cărbuni sub aspectul explorării, metodologia lucrărilor de explorare se diferențiază după următoarele cazuri:

— zăcămintele mari stratiforme, cu grosimi și înclinări puțin variabile, situate la adâncimi mai mici de 500 m, se explorează prin foraje dispuse în rețele uniforme;

— zăcămintele mari stratiforme, dar cu grosimi și înclinări variabile, situate la adâncimi până la 1 000 m, se vor explora prin foraje dispuse în rețele uniforme numai dacă din punct de vedere economic exploatarea este justificată la aceste adâncimi și fără să se mărească densitatea lucrărilor de explorare;

— zăcămintele mari și mijlocii, cu grosimi foarte variabile și cu structuri complicate, se explorează prin foraje în subfaza explorării preliminare pregătitoare, iar în subfaza explorării preliminare principale prin foraje și lucrări miniere;

— la zăcămintele mijlocii și mici, cu sorturi de cărbuni de valoare mare, dar formate din strate distorsionate, din lentile sau corpuri compuse în formațiuni dislocate, se aplică metodologia de explorare folosită pentru minereuri.

Explorarea de detaliu. Această fază se execută numai în anumite condiții, legate de punerea în exploatare a perimetrului cercetat sau a unei părți din acesta. Ea are ca obiectiv realizarea unui grad de asigurare a exploatării cu rezerve deschise și pregătire pentru o anumită perioadă de exploatare de 0,5—2 ani. În acest scop se execută lucrări miniere — deschiderea zăcămintului, lucrări de pregătire — galerii, suitori pentru compartimentarea în blocuri și panouri de exploatare.

4.2.4. EXEMPLE DE EXPLORARE A ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Zăcămintele de cărbuni, chiar și cele considerate uniforme, pot prezenta porțiuni cu structuri diferite. Din aceste motive sectorizarea sau raionarea din punctul de vedere al structurii, calității etc., a stratului se impune ca o necesitate pentru realizarea unei explorări raionale a zăcămintului carbonifer sau a bazinului respectiv.

Raionarea mai este impusă și de considerații legate de sistematizarea exploatării, efectuarea lucrărilor de deschidere și pregătire în cadrul explorării de detaliu etc., și de determinarea rezervelor.

Rezervele se vor putea contura astfel la diverse categorii, ținând seama și de gradul de complicație a raioanelor respective.

Criteriile de raionare sînt diferite. Pentru stratele de cărbuni cutate, raionarea poate fi făcută pe baza datelor geologice de suprafață și verificată prin foraje de referință sau o rețea foarte rară de foraje. În cazul stratelor de cărbuni deformați de mișcări tectonice se recomandă separarea zonelor mai intense deformați de cele mai puțin deformați etc.

Cazul I al unui zăcămint de lignit situat în formațiuni slab cutate. Considerînd un zăcămint de lignit aproape de suprafață, situat în formațiuni tinere slab cutate, pentru explorarea sa se face raionarea unor sectoare ale bazinului în explorarea preliminară pregătitoare. Lucrările din această subfază cuprind forajele executate pe aliniamente distanțate la 5—15 km, iar distanța între locații este de 1—2 km. Prin aceste aliniamente se urmărește delimitarea raioanelor (perimetrelor) cu condiții diferite în ceea ce privește structura și exploatarea.

În figura XI.139 este reprezentat un astfel de perimetru de cercetare cu o suprafață de 12,5 km. În subfaza principală a explorării preliminare se execută o rețea de foraje cu locații la distanța de 1 km, prin care s-a interceptat stratul principal cu grosimi între 3,5 și 6,5 m, situat în cea mai mare parte deasupra nivelului hidrostatic. A fost completată rețeaua cu locații de foraj pînă la distanța de 600 m și parțial pînă la 300 m, în scopul obținerii datelor proiectării exploatării.

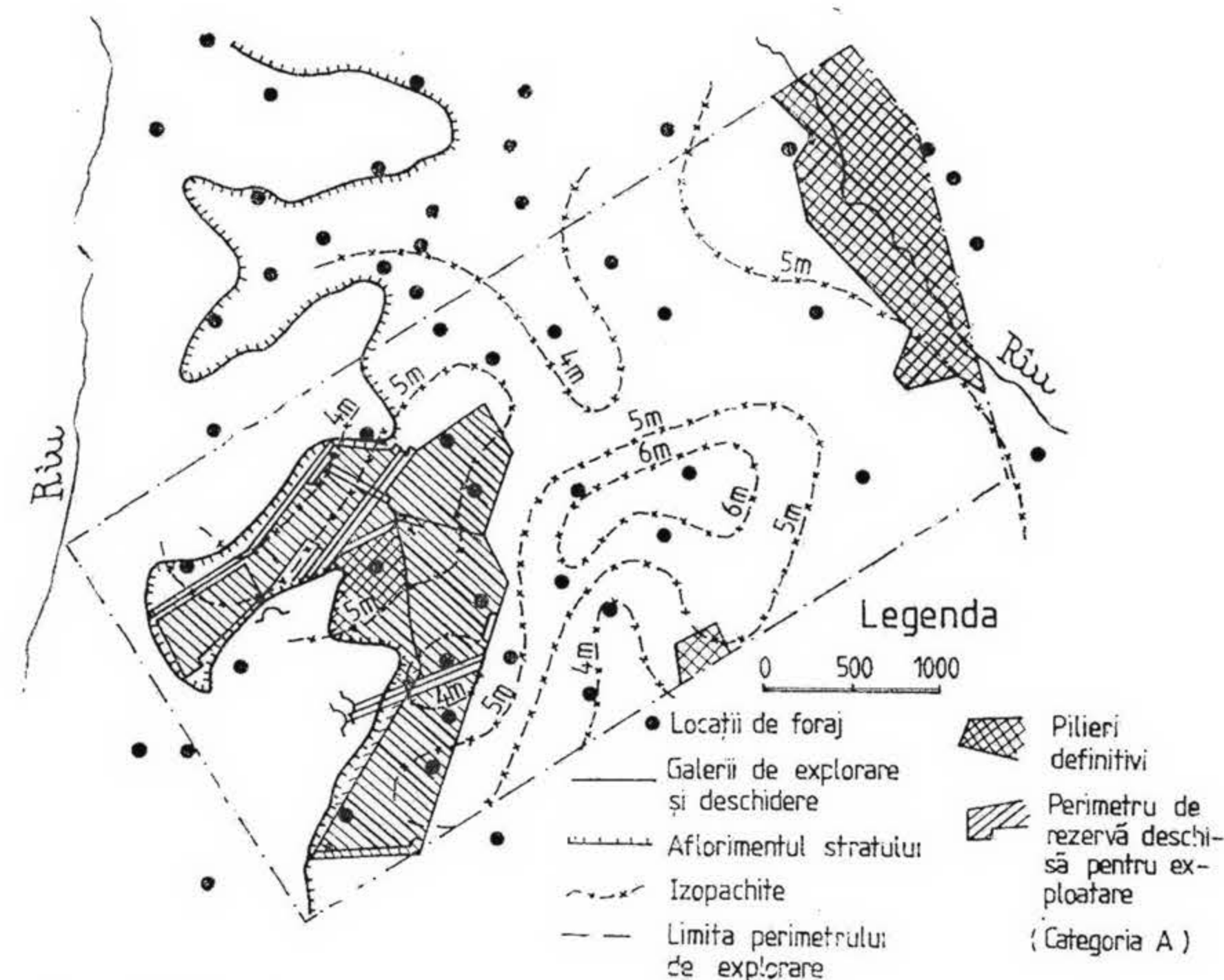


Fig. XI.139. Explorarea unui strat de lignit cuprins într-o formațiune carbunoasă slab cutată (Pliocen).

Explorarea de detaliu se efectuează prin lucrări miniere cu ajutorul cărora este deschisă rezerva pentru asigurarea exploatării.

Cazu II al unui zăcămint de huilă în formațiuni cutate și faliate. Într-o formațiune carboniferă cu grosimea de 100—300 m sînt localizate mai multe strate cu grosimi cuprinse între 0,5 și 40 m. Bazinul carbonifer are forma unei cuvete, adîncă de peste 1 000 m, strînsă în formațiunile de fundament care se ridică pe flancuri și interceptată de numeroase falii longitudinale și transversale. În bazin există exploatări de cărbune și foraje de referință și în consecință n-a mai fost necesară explorarea preliminară pentru perimetrul în cauză, care este situat în extinderea celor în exploatare. De aceea s-a trecut la explorarea perimetrului direct în subfaza explorării preliminare principale.

Pentru delimitarea rețelei de foraj a explorării preliminare principale, s-au executat mai multe foraje situate pe un aliniament așezat în lungul bazinului și mai multe foraje izolate. Toate forajele au interceptat stratele de cărbune și au confirmat structura generală de albie cu continuitatea zăcămintului, dar au pus în evidență existența unor structuri complicate și nu au dat posibilitatea să se coreleze secțiunile.

Pentru clarificarea structurii s-a întocmit o rețea de bază, de explorare prin foraje distribuite uniform în triunghi, la circa 300 m distanță. În felul acesta forajele explorării preliminare principale au permis clarificarea structurii stratelor, astfel încât

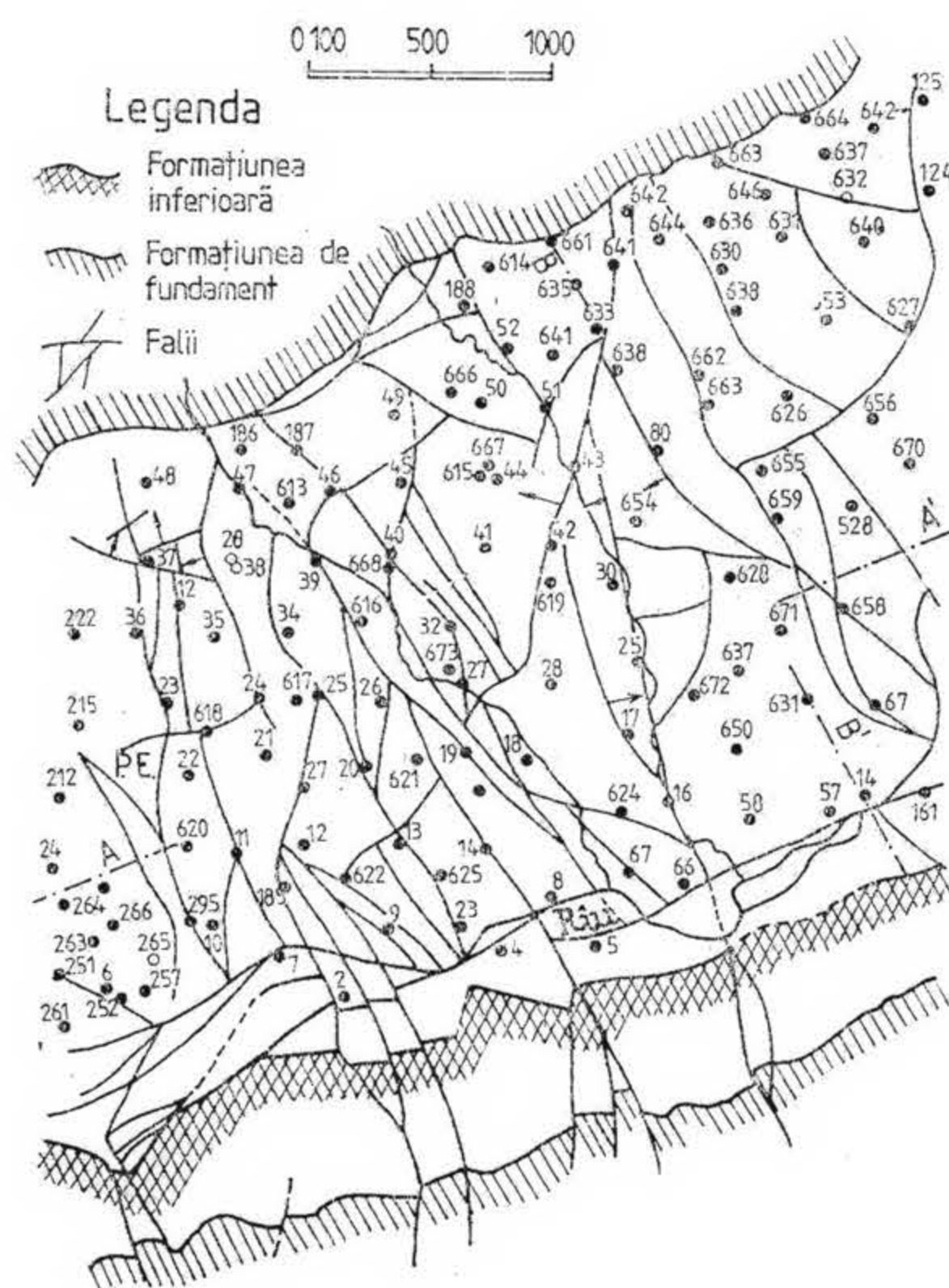


Fig. XI.140. Explorarea preliminară a unui zăcămint de uilă cutat și faliat, prin foraje dispuse în rețea.

să se poată trece pe baza lor la explorarea de detaliu și să se poată proiecta rețeaua de lucrări miniere de deschidere a zăcămintului. În fig. XI.140 sînt indicate limitele geologice principale, faliile și locațiile forajelor care sînt numerotate, precum și două secțiuni prin zăcămint (fig. XI.141).

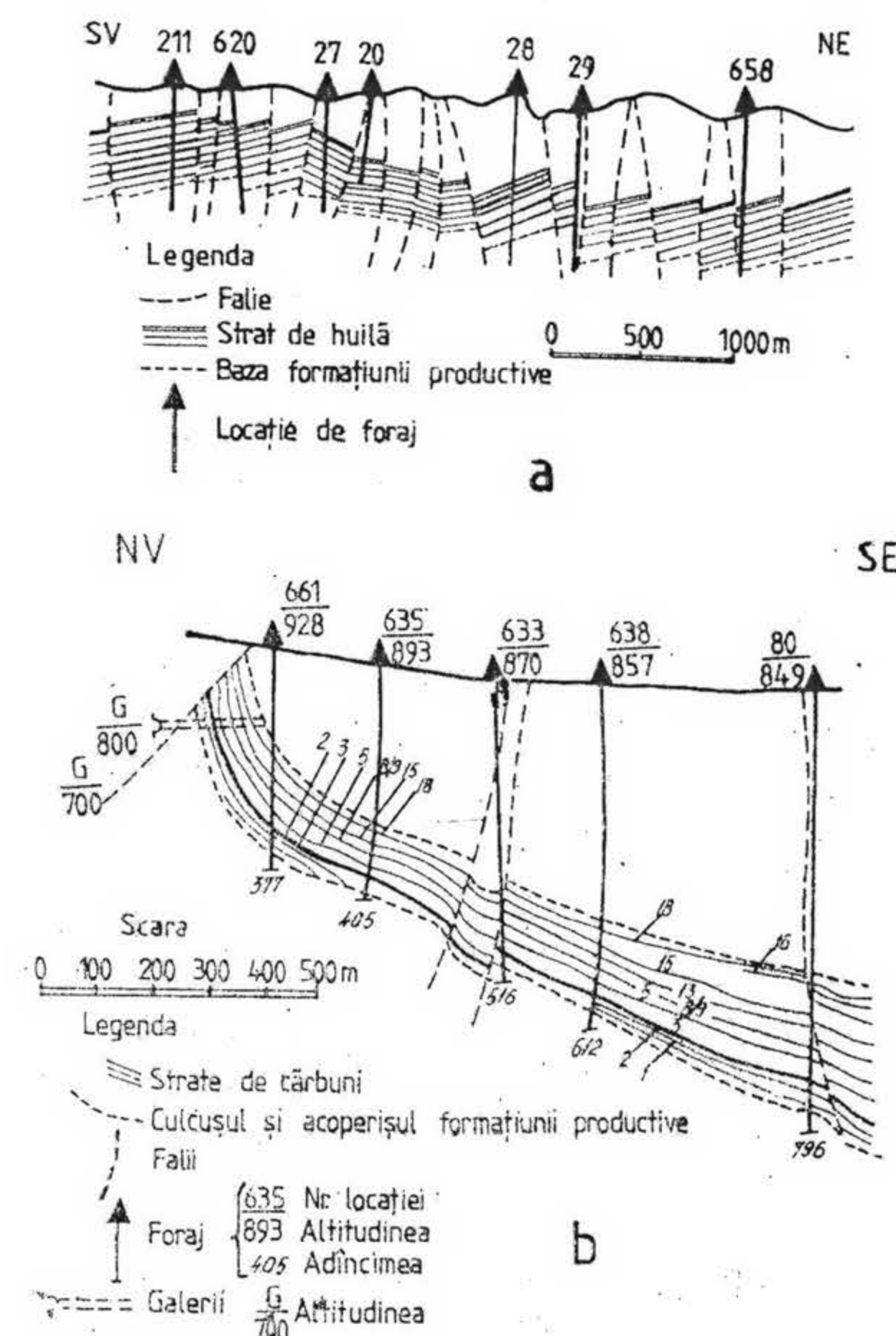


Fig. XI.141. Secțiuni geologice prin zăcămintul de uilă din fig. XI.140:

a — secțiune longitudinală A—A'; b — secțiune transversală B—B'.

4.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE NEMETALIFERE ȘI DE ROCI UTILE

Substanțele minerale utile nemetalifere cuprind acele substanțe care pot fi valorificate în stare brută sau în urma unei prealabile prelucrări. Domeniile de utilizare a acestora sînt foarte variate: industrie, construcții, agricultură, chimie etc.

Metodologia de explorare are la bază aceleași criterii ca și în cazul zăcămintelor de minereuri, cu unele particularități legate de condițiile de zăcămint ale substanței nemetalifere respective.

După condițiile de zăcămint și posibilitățile de valorificare, zăcămintele de substanțe nemetalifere se clasifică în patru grupe:

- zăcămintele ce apar în corpuri geologice exploatabile pe dimensiuni mari, cum sînt masivele de roci magmatice (granite, andezite, bazalte etc.);
- zăcămintele valorificabile numai parțial, în anumite zone, care au anumite proprietăți fizico-mecanice (calcare, dolomite, nisipuri caolinoase, argile refractare etc.);
- zăcămintele stratiforme interstratificate în alte roci (săruri, gips, barită, talc, azbest, calcit etc.);
- zăcămintele sub formă de cuiburi de diferite dimensiuni, care apar sporadic în masa rocilor comune (diamant, calcedonie, feldspat, mică etc.);

Cu excepția zăcămintelor din ultima grupă, celelalte acumulări devin exploatabile în condițiile explorării la costuri scăzute.

În ceea ce privește explorarea, trebuie aplicate metode puțin costisitoare, prin care se urmărește verificarea ipotezelor asupra extinderii zăcămintului și stabilirea potențialului acestuia.

Ținînd seama de varietatea mare în care apar substanțele nemetalifere, tratarea sub aspectul explorării este făcută pe clase de substanțe: gips și anhidrit, sare gemă, săruri de potasiu, fosforite, roci carbonatice, silicați aluminosi etc.

4.3.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE GIPS ȘI ANHIDRIT

Gipsul apare sub formă de strate sau lentile cu grosimi variabile, pînă la cîteva zeci de metri. Stratele mai subțiri pot alterna la anumite nivele cu strate subțiri de marne, iar cele cu grosimi mai mari conțin adesea intercalații de marne, argile etc. Sub formă de interstratificații apare adesea în zona inferioară a zăcămintelor de sare. Sub acțiunea presiunii și a căldurii gipsul pierde apa de cristalizare și se transformă în anhidrit, de aceea nu apare la adîncimi mai mari de 200 m.

Depozitele de gips ce afloră se explorează prin șanțuri și puțuri, iar cele acoperite — prin foraje de mică adîncime.

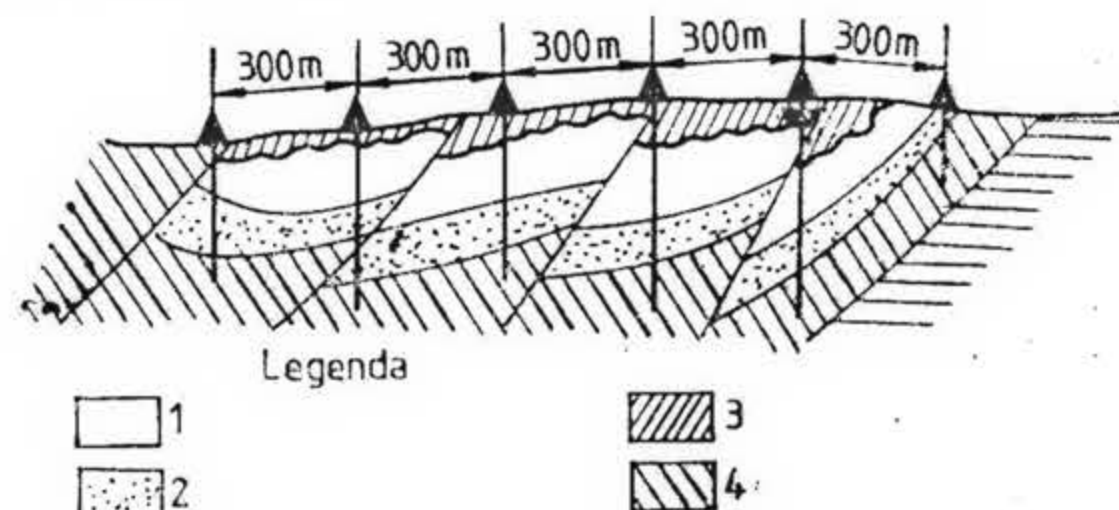


Fig. XI.142. Explorarea preliminară a unui zăcămint de gips:
1 — gips alabastru; 2 — gips impur; 3 — argile descoperite; 4 — marne de culcuș.

Explorarea preliminară pregătitoare se face prin foraje de referință, iar explorarea preliminară principală printr-o rețea de foraje dispuse pe aliniamente așezate perpendicular pe direcția zăcămintului și la distanțe cuprinse între 300 și 1000 m.

Distanța între forajele aceluiași aliniament variază între 100 și 300 m (fig. XI.142).

Pentru explorarea de detaliu se utilizează rețele cu distanță între foraje de 50 m.

4.3.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SARE GEMĂ ȘI DE SĂRURI DE POTASIU

Depozitele de sare apar sub formă de strate lentiliforme cu dimensiuni mari, corpuri cilindrice verticale diapire, apofize sau corpuri complexe insinuate de fracturi, punji sau impregnații de sare.

Datorită condițiilor variate în care apar masivele de sare, explorarea preliminară pregătitoare trebuie să clarifice geologia zăcămintului. Ipotezele asupra formei extinderii și calității zăcămintului se verifică prin foraje de referință, șanțuri, puțuri și determinări hidrogeochimice, după care se completează și se corelează datele în etapa următoare, a explorării preliminare principale, prin unele lucrări miniere subterane și foraje subterane.

O atenție deosebită trebuie acordată amplasării acestor lucrări de explorare. Se va evita amplasarea la contactul dintre sare și rocile înconjurătoare și, în general, în zonele în care pot avea loc infiltrații de ape superficiale sau pot pătrunde, la masivul de sare, ape din strate acvifere. După verificarea ipotezei asupra distribuției sării și asupra formei zăcămintului, care se face prin cîteva foraje de referință pînă la 1000 m, se alege rețeaua de foraje la gabarite de 200 m × 200 m sau de 300 m × 300 m, din care apoi explorarea continuă pe aliniamente perpendiculare pe direcția de extindere a masivului, la distanțe de 900—1500 m (fig. XI.143).

În cazul exploatării sării prin dizolvare, explorarea se va face în mod exclusiv prin foraje pe aliniamente așezate la distanțe de 600—1200 m, cu distanța între punctele de pe aliniament de 300—600 m.

Explorarea de detaliu se face prin foraje prin care se exploatează în cele din urmă sarea dizolvată — saramura.

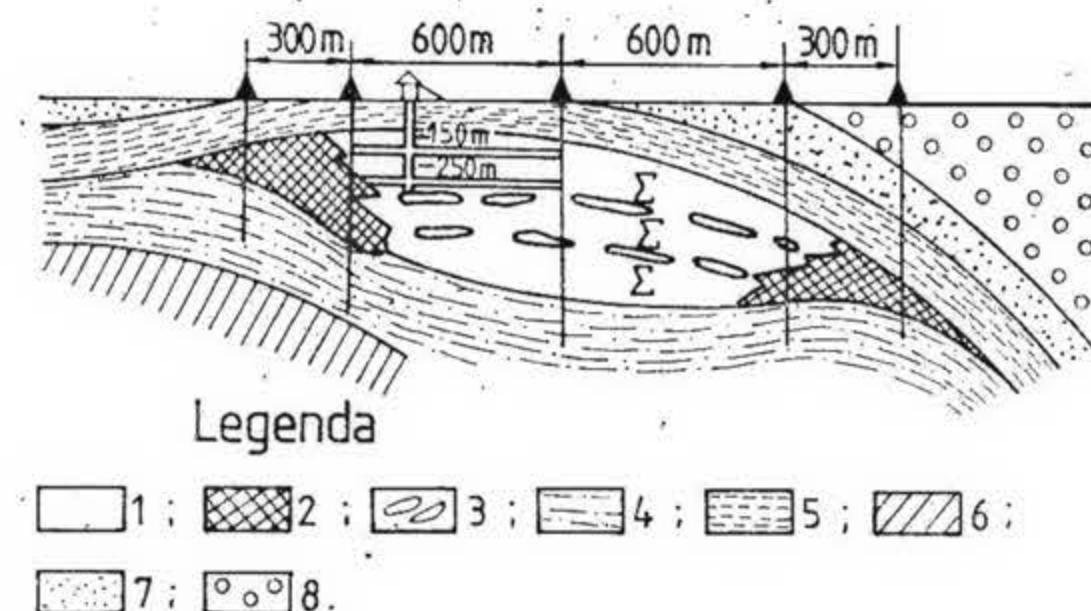


Fig. XI.143. Explorarea preliminară și de detaliu a unui zăcămint de sare:

1 — sare; 2 — breția sării; 3 — intercalații marnoase în sare; 4 — marne cu globigerine; 5 — marne tufitice; 6 — gresii marnoase; 7 — gresii marno-calcaroase; 8 — gresii și conglomerate.

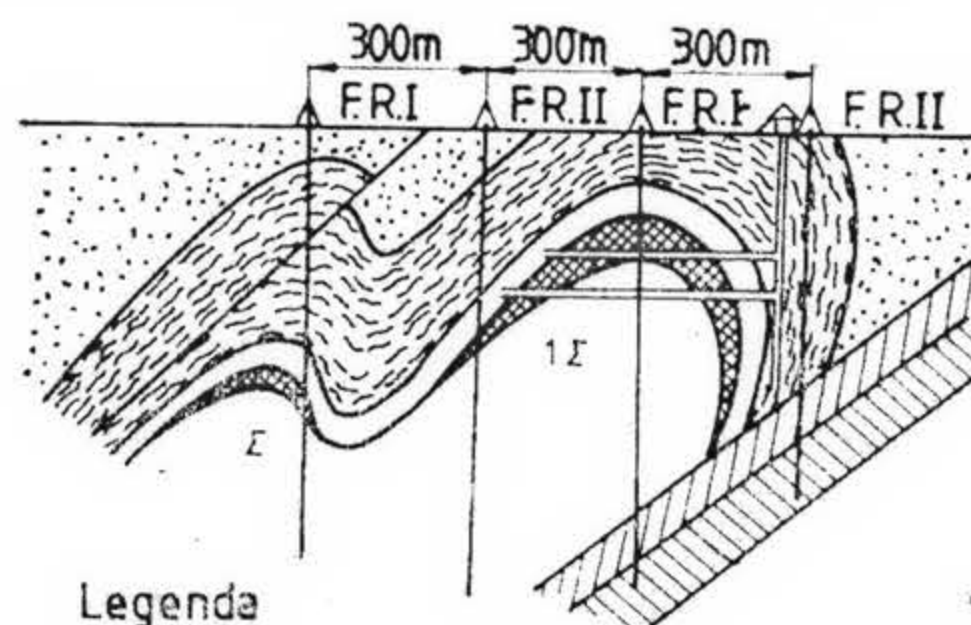
Dacă exploatarea se va face prin camere, explorarea preliminară principală se realizează prin foraje de suprafață sau foraje dirijate din lucrări subterane, iar explorarea de detaliu se face numai prin lucrări subterane, completate cu unele foraje dirijate din acestea, la gabarite de 50—100 m.

Sărurile de potasiu apar sub formă de strate alternînd cu depuneri de halit, de gips și în special de săruri de magneziu și de silvină.

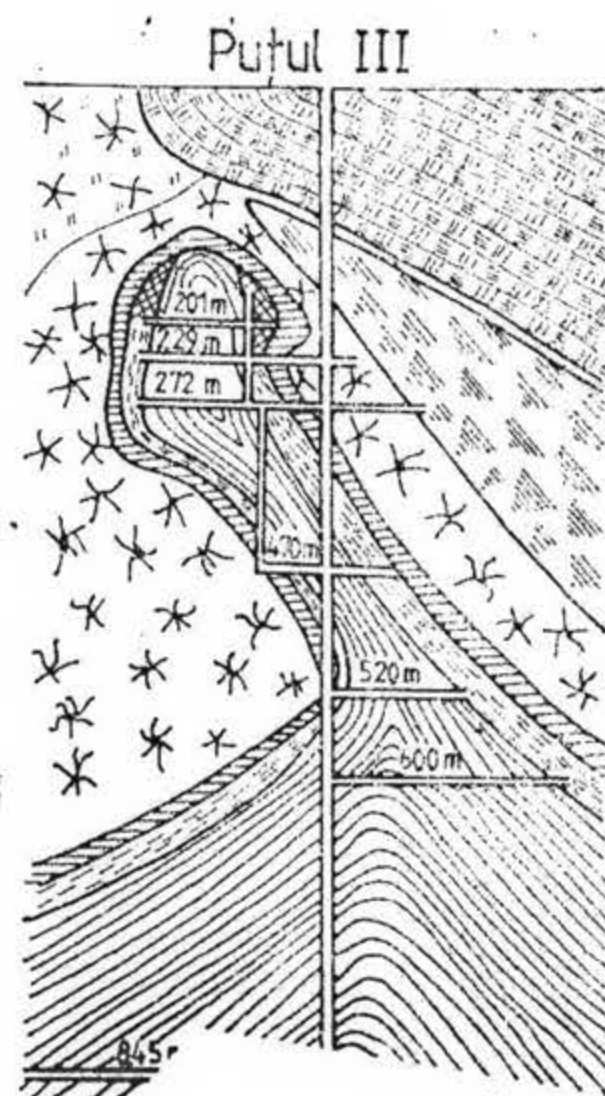
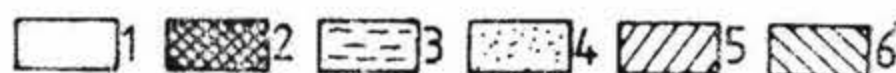
Mineralul principal pentru potasiu este silvina (KCl). Se consideră exploatabile stratele cu un conținut de peste 10% K_2O .

Prin explorarea preliminară, ca și în cazul sării geme, trebuie să se clarifice structura zăcămintului prin corelarea datelor anterioare obținute prin prospecțiune cu cele obținute în explorarea preliminară pregătitoare. În faza următoare a explorării

preliminare principale, o atenție deosebită se acordă structurii porțiunilor din acoperișul corpurilor de sare, întrucât sărurile de potasiu fiind foarte plastice pot suferi deformări importante. Explorarea preliminară principală se face prin lucrări miniere completate cu foraje subterane (fig. XI.144).



Legenda



Legenda

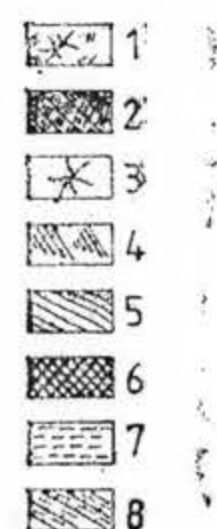


Fig. XI.145. Explorarea de detaliu a unui zăcămint de săruri de potasiu:

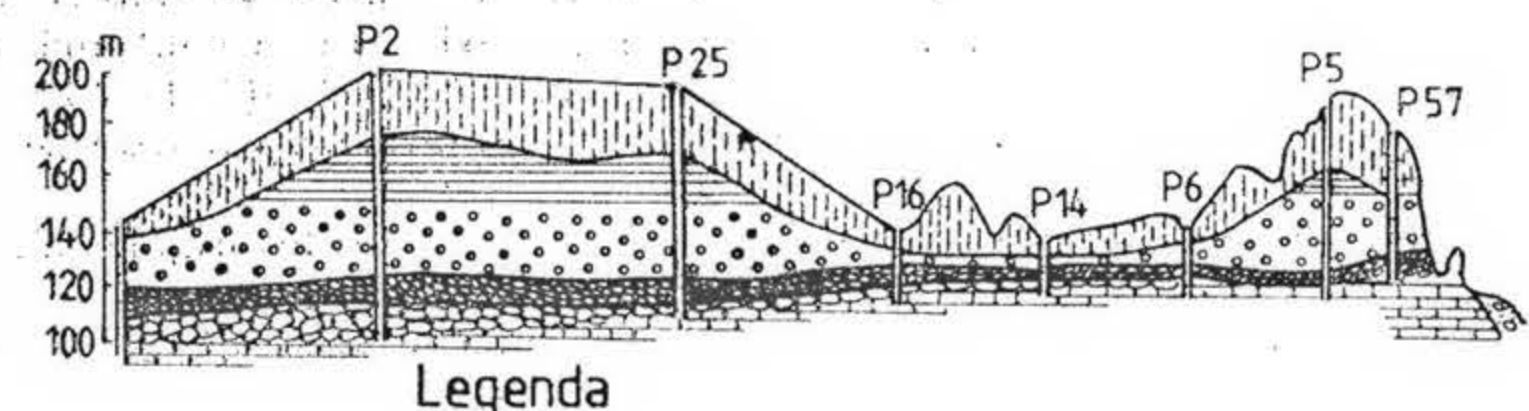
1 - gips; 2 - formațiuni greziase; 3 - anhidrit; 4 - săruri impure; 5 - săruri argiloase; 6 - săruri de potasiu; 7 - săruri de magneziu; 8 - breșă sării.

Explorarea de detaliu se execută pe măsura necesităților, folosind lucrări miniere prin care se urmărește și compartimentarea zăcămintului în vederea exploatării lui (fig. XI.145).

Probarea zăcămintelor de săruri de potasiu se face prin brazde în lucrările subterane care traversează zăcămintul sau din carotele obținute din foraje.

4.3.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FOSFORITE

Sub denumirea de *fosfoșoite* sînt cuprinse acumulările de roci bogate în fosfor. În marea lor majoritate aceste roci sînt sedimentare, mai mult sau mai puțin metamorfizate. Anumite pegmatite conțin fosfor cînd sînt bogate în apatite.



Legenda

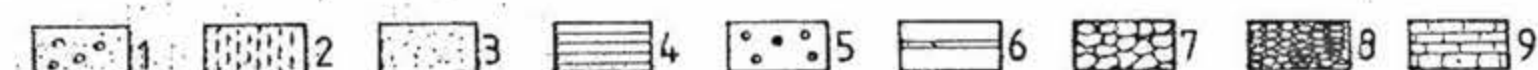


Fig. XI.146. Explorarea preliminară a unui zăcămint de fosforit prin puțuri:

1 - aluminiu; 2 - argile; 3 - nisipuri cuarțoase; 4 - nisipuri argiloase; 5 - nisipuri; 6 - fosfați; 7 - nisipuri conglomerate; 8 - argile și silexuri; 9 - calcare cretoase.

Mineralele comune cuprinse în fosforite sînt apatitele (fluorapatitul, clorapatitul, hidroxiapatitul și carbonatapatitul), cuprinzînd trifosfatul de calciu și alți compuși ai calciului. În fosforitele sedimentare, fosforul apare sub formă de colofan — un gel de feldspat de calciu.

În general, depozitele fosforitice se caracterizează prin grosimi variabile și discontinuitate în cadrul acelorași formațiuni sau strate.

Explorarea preliminară se face prin foraje sau puțuri, pentru conturarea blocurilor geologice sau a zonelor mineralizate (fig. XI.146). Pe baza datelor obținute se continuă explorarea preliminară principală, pentru conturarea pe direcție, prin lucrări miniere, a blocurilor mineralizate. Explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere, prin care se urmărește deschiderea și compartimentarea (pregătirea) zăcămintului pentru exploatare.

Probarea zăcămintului se face prin brazde, la distanțe de 5—10 m, în galeriile care urmăresc zăcămintul, și în galerii transversale sau breșe în cazul grosimilor mari.

4.3.4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CALCITĂ, CELESTINĂ, BARITINĂ ȘI FLUORINĂ

Calcita apare în natură sub formă de filoane, lentile sau corpuri neregulate de origine hidrotermală. Are utilizări restrînse, fiind folosită în special ca material piezo-optic pentru aparate de laborator.

Explorarea preliminară pregătitoare se face prin dezveliri și șanțuri în terenurile acoperitoare, iar explorarea preliminară principală prin foraje de mică adâncime (până a maximum 100 m adâncime), așezate la distanțe de 25–100 m, pentru stabilirea formei, extinderii și constituției zăcămintului.

Explorarea de detaliu se face cu galerii sau puțuri de explorare amplasate în rocile înconjurătoare, din care apoi se continuă explorarea zăcămintului prin foraje dirijate și galerii până la contactul cu corpurile de calcită.

Celestina apare sub formă de strate, însoțind uneori depozite de gipsuri. Este singura sursă industrială pentru extragerea stronțului. Zăcămintele de celestină sînt bine dezvoltate cînd deasupra gipsului se găsesc calcare organogene. În explorarea preliminară pregătitoare se execută foraje de referință pentru cercetarea contactelor zăcămintelor de gips sau a unor acumulări de gips, după care se continuă explorarea preliminară principală prin lucrări miniere amplasate la distanță de 200 m.

Explorarea de detaliu se execută numai prin lucrări miniere prin care se urmărește și deschiderea și pregătirea zăcămintului.

Baritina apare sub formă de filoane și corpuri lenticulare de origine hidrotermală, în calcare și roci eruptive.

Explorarea zăcămintelor de baritină se face după aceeași metodă aplicată la zăcămintele de minereuri.

Explorarea preliminară pregătitoare urmărește delimitarea zonei de extindere a baritei și stabilirea ipotezei asupra formei și constituției zăcămintului, folosind lucrări de suprafață și foraje de referință. Explorarea preliminară principală se execută cu lucrări miniere (galerii direcționale, breșe etc.) și foraje dirijate.

Explorarea de detaliu se face pe baza studiului tehnico-economic, urmărindu-se concomitent deschiderea și pregătirea zăcămintului.

Fluorina apare frecvent în ganga zăcămintelor hidrotermale de plumb și zinc, cupru etc., formate la diverse temperaturi, de la hipo la epitermale, împreună cu cuarțul, baritina, calcita și siderita.

Explorarea se face după aceleași criterii ca și în cazul explorării zăcămintelor filoniene de minereuri.

4.3.5. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FELDSPAT, MICĂ ȘI CUARȚ

Feldspatul, mica și cuarțul au numeroase utilizări în industrie. Feldspatul este folosit în special în ceramică, pentru glazura porțelanurilor etc., mica se utilizează ca izolator în industria electrotehnică și în construcția unor mașini și utilaje, iar cuarțul este utilizat ca material piezoelectric.

Feldspatul, mica și o mare parte din cuarțul piezoelectric se găsesc în pegmatitele granitice.

Explorarea pegmatitelor pentru feldspat, mică și cuarț este dificilă, deoarece acestea apar sub formă de corpuri de dimensiuni mici și cu forme foarte complicate, răspândite pe o suprafață mare și avînd o constituție capricioasă.

Explorarea preliminară pregătitoare urmărește în primul rînd nivelul la care se găsesc corpurile pegmatitice și sorturile substanțelor nemetalifere. Se efectuează prin puțuri, galerii de coastă și prin foraje de referință de mică adâncime, pentru clarificarea ipotezei asupra extinderii și distribuției corpurilor pegmatitice în zona cercetată.

Explorarea preliminară principală se continuă prin galerii de coastă, breșe și foraje dirijate, pentru delimitarea corpurilor de pegmatit, compoziției lor pe sorturi și extinderii acestora.

La explorarea de detaliu este indicat să fie cercetate simultan mai multe corpuri.

4.3.6. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SERPENTINĂ, TALC ȘI MAGNEZIT

Serpentina pură este formată din MgO (43%), SiO₂ (44,1%) și H₂O (12,9%). Printr-un metamorfism hidrotermal mai avansat sau în legătură cu acțiunea de siliciere și a bioxidului de carbon rezultă talcul (31,7% MgO, 63,5% SiO₂ și 4,8% H₂O) și magnezitul (47,6% MgO și 52,41% CO₂).

Zăcămintele de serpentină, talc și magnezit au de cele mai multe ori structuri complexe, apărînd sub formă de filoane, lentile, coșuri, strate etc., de diferite sorturi. De aceea și explorarea lor este foarte complicată. În explorarea preliminară pregătitoare se urmărește studiul structurii și metamorfismului, precum și evoluția magmatismului, ținînd seama și de rocile învecinate. Prin lucrările de referință formate din șanțuri, puțuri, galerii de coastă și foraje se clarifică ipoteza formei zăcămintului și distribuției mineralizației. În explorarea preliminară principală se urmărește extinderea mineralizației și precizarea caracterului acesteia, printr-un program corespunzător de lucrări miniere sau combinate. În corpurile mari de serpentine se pot aplica gabarite între 300 și 1 000 m, iar pentru corpurile mici gabarite între 50 și 300 m (fig. XI.147).

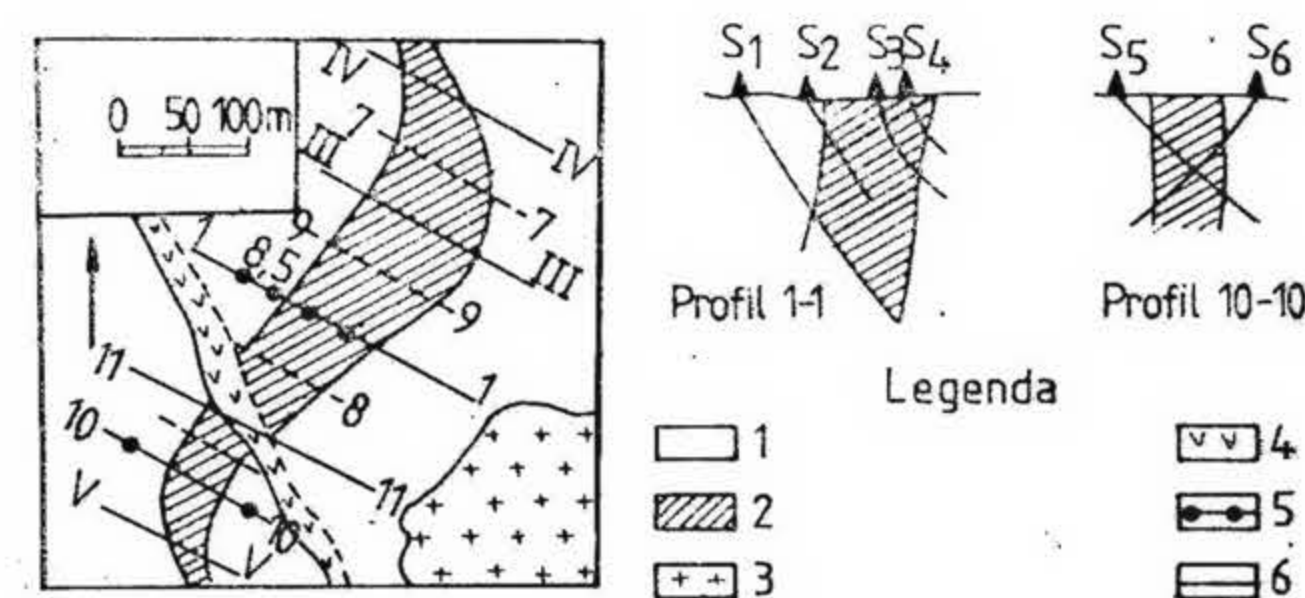


Fig. XI.147. Explorarea unui zăcămint de talc:

1 — roci carbonatice; 2 — roci talcomagneziene; 3 — granite; 4 — porfire;
5 — aliniamente de foraje; 6 — aliniamente de lucrări de explorare (șanțuri, puțuri de mină și foraje).

Pentru serpentinele ce se exploatează prin lucrări la zi, explorarea se face prin foraje și numai talcul și magnezitul se explorează prin lucrări miniere. În cazul zăcămintelor de serpentine extinse în adâncime, explorarea se face prin galerii de coastă și lucrări miniere combinate.

Explorarea de detaliu se face de obicei concomitent cu exploatarea, pe baza studiilor tehnico-economice și de sistematizare a exploatării.

4.3.7. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE DISTEN, ANDALUZIT ȘI SILLIMANIT

Aceste minerale sînt metasilicați de aluminiu și au aceeași compoziție chimică: 63,1% Al_2O_3 și 36,9% SiO_2 .

Distenul apare în roci metamorfice bogate în aluminiu, de regulă în zona de trecere de la gnaise la micașturi cu conținuturi de 3–15% disten; alteori apare sub formă de cuiburi sau agregate de cristale.

Andaluzitul apare la contactul granitelor cu roci metamorfice și în cuarțite, în vecinătatea corindonului. Conținutul de andaluzit în cuarțite este în jur de 18%.

Sillimanitul apare în zona de contact a unor granite cu turmalină, sub formă de lentile sau cuiburi cu conținut pînă la 85%.

În explorarea preliminară pentru disten se urmărește conturarea zonelor sau a corpurilor cu conținut de disten, andaluzit și sillimanit. În explorarea preliminară pregătitoare se completează documentația obținută prin cartare și prospecțiune, utilizînd foraje de referință pentru cercetarea adîncinii gnaiselor și variației grosimii micașturilor cu disten. Dacă relieful este accidentat se urmărește variația conținutului de disten prin galerii de coastă.

Explorarea preliminară principală se efectuează printr-o rețea de foraje cu gabarite de la 200 pînă la 1 000 m, cu distanța între aliniamente aleasă după condițiile de teren. Concomitent cu forajele se vor executa galerii de coastă pentru urmărirea conținutului mediu de disten și variației între conținuturile maxime și minime.

Explorarea de detaliu se face concomitent cu exploatarea și trebuie să asigure un volum de rezerve pentru 3–4 ani. Dacă exploatarea se face în carieră, prin explorarea de detaliu se precizează și forma și volumul descopertei, pentru care se execută foraje în rețea la distanțe de 50–200 m.

Zăcămintele de andaluzit se explorează în același mod, căutînd să se delimiteze zonele cu conținut mai ridicat față de zonele cu conținut mediu normal.

Această delimitare se face în faza explorării preliminare principale, săpînd galerii direcționale și breșe la distanțe de 25–100 m. Explorarea de detaliu urmărește odată cu obiectivul geologic și deschiderea și pregătirea zăcămintului.

Zăcămintele de sillimanit apar sub formă de corpuri și lentile. În explorarea preliminară pregătitoare se urmăresc contactele rocilor granitice și zonele de mineralizare, utilizînd foraje de referință și eventual galerii de coastă.

4.3.8. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE AZBEST ȘI CORINDON

Explorarea zăcămintelor de azbest este dificilă. În explorarea preliminară se urmăresc serpentinele și se delimitează diferitele sorturi de serpentine, cu metamorfismul, alterația și accidentele suferite.

Se urmăresc, de asemenea, pegmatitele și în special filoanele de pegmatit sau cuarț care au legătură cu serpentinele.

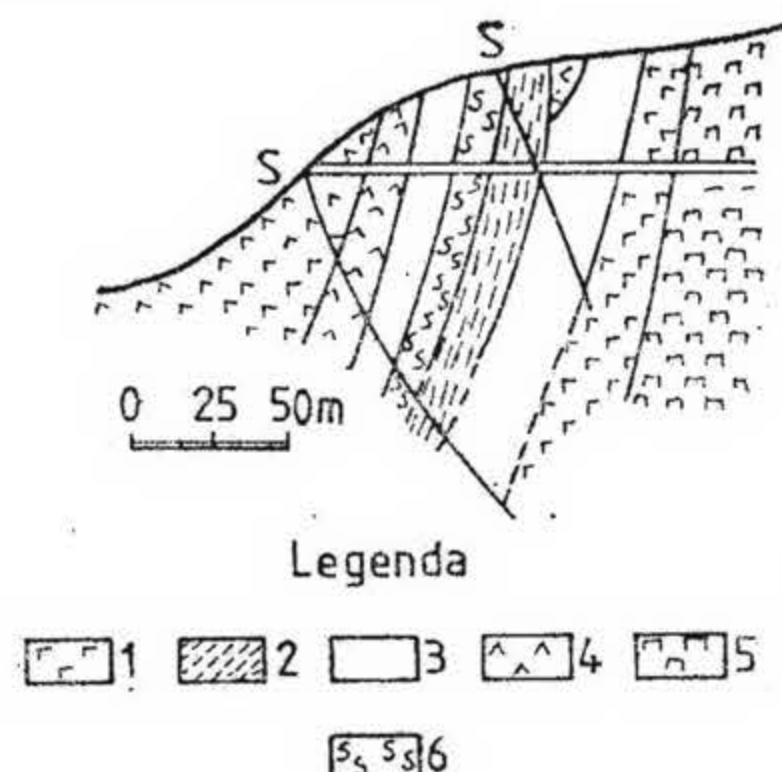
Zonele cu azbest au forme lenticulare sau ramificate. Explorarea preliminară se face cu lucrări miniere (puțuri de mină, galerii de coastă, breșe) și foraje scurte, la diferite nivele, cu distanțe de maximum 50 m (fig. XI.148) pe verticală și 50–200 m pe orizontală.

Corindonul este oxid de aluminiu cristalizat. Apare în roci metamorfice, în zonele de contact cu unele corpuri magmatice.

Zăcămintele de corindon apar sub formă de cuiburi lentiliforme. Explorarea se face după aceleași criterii aplicate, în general, în cercetarea substanțelor ce apar sub formă de corpuri mici sau agregate de cristale de valoare mare.

Fig. XI.148. Explorarea unui zăcămint de azbest prin foraje și galerii:

1 – serpentine; 2 – serpentine mineralizate; 3 – serpentine cu carbonați și talc; 4 – dunite; 5 – peridotite.



Explorarea se începe cu lucrări de suprafață pe baza cărora se execută foraje de referință sau lucrări miniere pentru cercetarea contactelor corpurilor magmatice, a distribuției diferitelor zone de metamorfism, a structurii lor, a fracturilor și aureolelor cu corindon.

4.3.9. EXPLORAREA ROCILOR CARBONATICE (CALCARE, DOLOMITE, MAGNEZITE)

Prin roci carbonatice se înțeleg acele roci care conțin peste 80% carbonați. În constituția lor mineralogică, pe lângă constituenții principali, care sînt carbonatul de calciu și de magneziu, mai conțin carbonați de Fe, Mn, Sr, Ba, Zn etc. Aceste roci au numeroase utilizări în industrie, după proprietățile lor fizico-mecanice și chimice.

Pentru extragerea calcarului din masivele calcaroase, în condiții economice și de calitate corespunzătoare domeniului respectiv de utilizare, este necesar ca aceste zăcămintele să fie explorate pentru a se pune în evidență potențialul cantitativ și calitativ pe sorturi. O atenție în explorare trebuie să se acorde atît descopertei cît și deșeurilor calcaroase, în special sub aspectul posibilităților de folosire în diferite domenii (fabricarea cărămizilor, mozaic, ciment, refacerea solurilor etc.).

În explorarea preliminară, subfaza pregătitoare, se urmărește conturarea masivului de calcare, folosind ca lucrări de explorare șanțuri, puțuri de mină, foraje. Pentru materialele de construcții este necesar să se facă și un studiu structural. Pentru determinarea succesiunii formațiunilor, intruziunilor, intercalațiilor etc., se execută foraje de referință sau galerii.

În explorarea preliminară se verifică ipoteza asupra extinderii și delimitării masivului calcaros, printr-o rețea de foraje la distanța de 200–1 000 m, însoțite de galerii de coastă în cazul unui relief pronunțat. Aliniamentele se orientează perpendicular pe direcția de extindere a masivului (fig. XI.149).

Explorarea de detaliu se face printr-o rețea de foraje sau galerii săpate la distanțe de 50–300 m, executându-se și lucrările de descoperire.

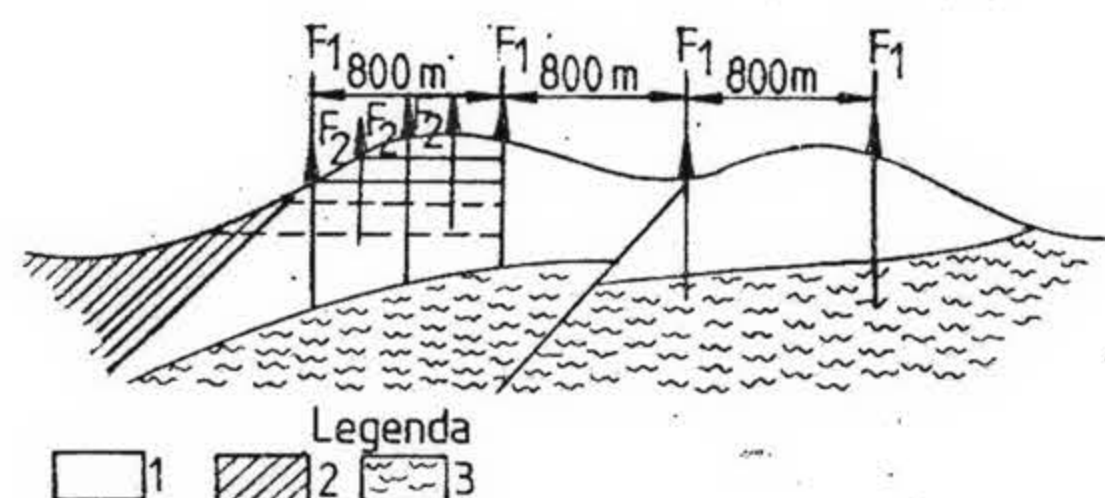


Fig. XI.149. Explorarea preliminară a unui masiv de calcar:

1 — calcar; 2 — șisturi de acoperiș; 3 — șisturi de culcuș;
F1–F2 — foraje de explorare în etapele 1 și 2.

În explorarea calcarelor și dolomitelor prin foraje, o atenție deosebită trebuie acordată tehnologiei de foraj, ținând seama de accidentele ce pot surveni ca urmare a fisurării, golurilor carstice etc.

4.3.10. EXPLORAREA SILICAȚILOR ALUMINOȘI

Sub denumirea de silicați aluminosi se cuprind silicații de aluminiu hidratați, cu impurități mai mari sau mai mici. Când conțin oxizi de fier sau au în amestec diferite minerale de siliciu, mică etc., se numesc *argile*.

După domeniile de utilizare se deosebesc șapte sorturi principale de silicați aluminosi: *argilă refractară*, *argilă caolinoasă*, *nisipuri caolinoase*, *bentonite* și *vermiculite*, *argile pentru fluid de foraj*, *roci argiloase de cărămidărie* și *caolinuri*.

Zăcămintele de silicați aluminosi se stabilesc după criteriile de utilizare a acestora.

Explorarea trebuie să se limiteze la delimitarea strictă a sectoarelor corespunzătoare sortului respectiv în care urmează să se facă exploatarea. Din punct de vedere economic prezintă importanță zăcămintele sau zonele ușor accesibile, cu roci acoperitoare subțiri, cu condiții de exploatare la zi și condiții ușoare de haldare.

Explorarea preliminară pregătitoare, prin datele obținute, trebuie să completeze datele prospecțiunii, în scopul stabilirii calităților tehnologice ale silicaților aluminosi să delimiteze sorturile pe baza cercetărilor de laborator și chiar a probelor tehnologice. În acest scop explorarea preliminară pregătitoare se va face prin lucrări ușoare de suprafață, șanțuri, puțuri de mină, foraje scurte și chiar foraje de referință, pentru lămurirea genezei și extinderii sorturilor.

Explorarea preliminară principală are sarcina, în primul rând, de a stabili extinderea sorturilor în zăcămint și variația calității acestora, astfel încât să se poată determina prin calculele tehnico-economice: dinamica producției, dezvoltarea exploatarei și condițiile economice de exploatare. În acest scop se folosesc rețele geometrice cu liniile orientate perpendicular pe direcția de extindere a zăcămintului sau pe direcția

liniilor de nivel a reliefului, cu gabarite ce variază de la 200 la 1 000 m sau mai mici, în zonele cu variații mari ale grosimilor și conținuturilor.

În mod practic se execută la început explorarea pe două aliniamente în cruce, la gabarit de 200–400 m, pentru stabilirea parametrilor principali ai zăcămintului.

Ca lucrări pentru zăcămintele stratiforme se utilizează forajele ușoare executate cu sondeze.

Explorarea de detaliu se execută pentru a stabili gradul de asigurare cu rezerve, pe măsura exploatării, la capacitățile stabilite prin proiectul de sistematizare al exploatării. În explorarea de detaliu se utilizează gabarite corespunzătoare programării descoperitei și întocmirii preliminarilor anuale de producție, de obicei cuprinse între 100 și 300 m.

Pentru acest tip de substanțe, explorarea se face în general cu lucrări ușoare și cu volume mici, astfel încât costul lor să nu depășească câteva procente din valoarea substanței minerale, fără să depășească 10%.

4.3.11. EXPLORAREA MARNELOR

Rocile omogene compacte și cu granulație fină, formate din substanță argiloasă și carbonat de calciu în conținuturi cuprinse între 30 și 70% se numesc *marne*.

În explorare se urmărește extinderea stratelor de marne, de delimitare în cuprinsul lor a eventualelor zone silicifiate, intercalațiilor sterile etc. Prin explorarea preliminară pregătitoare se determină conturul zonei ce urmează să fie explorată în continuare, se stabilește distribuția conținutului substanței, caracteristicile stratelor acoperitoare și se va formula ipoteza asupra extinderii zăcămintului.

Explorarea preliminară principală va verifica, prin lucrările corespunzătoare, ipoteza asupra structurii generale și asupra formei zăcămintului pentru perimetrul prospectat și eventualele sorturi. Ea se efectuează printr-o rețea de foraje la distanțe de 300 până la 1 500 m. După configurația terenului, forajele se înlocuiesc cu galerii de coastă și suitori.

Explorarea de detaliu se continuă în zonele prevăzute a intra în exploatare. Prin lucrările din această etapă se delimitează blocurile de exploatare, zona de descoperire, sorturile de marne și zonele sterile, în vederea întocmirii preliminarilor de producție. În acest scop se execută, de obicei, foraje în rețea, la gabarite cuprinse între 100 și 500 m.

4.3.12. EXPLORAREA ROCILOR SILICIOASE

Sub această denumire sînt cuprinse rocile cu conținut foarte ridicat de silice (peste 90% SiO₂).

Din punctul de vedere al explorării, rocile silicioase se clasifică în trei clase:

- roci silicioase sedimentare detritice (nisipuri, gresii, pietrișuri etc.);
- roci silicioase organogene (diatomite, radiolaritate etc.);
- roci silicioase metamorfice și hidrotermale (cuarțite, calcedonie, opal etc.).

Prin lucrările de explorare se urmărește extinderea zonelor exploatabile și calitatea rocilor respective.

Ca lucrări de explorare preliminară pregătitoare se execută șanțuri, puțuri de mină, foraje manuale, foraje cu sondeze autopurtate și mai rar lucrări miniere grele. Explorarea preliminară trebuie să aibă în vedere obținerea datelor necesare întocmirii studiului tehnico-economic de etapă și proiectului general de sistematizare. Ea se execută în rețea de foraje la gabarite de 300 și 1 000 m sau mai mici pentru zonele cu accidente structurale, variații de conținut etc.

Explorarea de detaliu se efectuează în sectoarele prevăzute pentru exploatare, în vederea asigurării cu rezerve pe 3—5 ani. Ca lucrări se aplică forajele și lucrările miniere sau lucrări combinate.

Probarea se face prin brazde în lucrările miniere și prin carotaj în foraje.

Cuarțitele fac parte din clasa a 3-a a rocilor silicioase metamorfice și se caracterizează prin conținutul lor ridicat în cuarț (de peste 95%) și conținuturi scăzute de Fe_2O_3 (sub 1,5—2%), Al_2O_3 (sub 2%) și CaO (sub 1,5%).

Pentru stabilirea extinderii zăcămintului și a sorturilor se execută lucrări de referință — foraje sau lucrări miniere (galerii de coastă, foraje dirijate subterane). Gabaritele indicate sînt de la 200 pînă la 800 m.

Explorarea de detaliu se face în scopul asigurării cu rezerve pe o durată de obicei de 2—3 ani. În această etapă se folosesc gabarite de 50—500 m.

4.3.13. EXPLORAREA NISIPURILOR ȘI PIETRIȘURILOR (AGREGATELOR)

Sub denumirea de agregate sînt cuprinse nisipurile și pietrișurile folosite la prepararea betoanelor și mortarelor.

Se deosebesc zăcămintele aluvionare, care se exploatează sub nivelul apei, și zăcămintele din depozite situate deasupra nivelului apei.

Explorarea lor preliminară pregătitoare se face cu unul sau două foraje de referință, în scopul de a stabili succesiunea sedimentației și patul aluviunii sau depozitului de agregate. În continuare, pentru valorificarea ipotezei asupra forme și calității substanței, se execută explorarea preliminară principală cu foraje la distanțe de 200—500 m, pe aliniamente perpendiculare pe direcția extinderii zăcămintului, așezate la distanțe de la 500 pînă la 2 000 m. Forajele nu trebuie să depășească patul depozitelor agregate și cel puțin 2/3 din ele nu vor depăși cu mai mult de 1 m nivelul de exploatare.

Pentru zăcămintele aflate deasupra nivelului hidrostatic, în locul forajelor se execută puțuri susținute și bandajate.

Explorarea preliminară principală urmărește obținerea elementelor pe baza cărora să se poată determina rezistența și consistența agregatului uscat, ud și sub apă și posibilitățile de curgere, elemente care stau la baza proiectării exploatarei.

Explorarea de detaliu se execută, pentru perimetrul stabilit a intra în exploatare, prin foraje sau puțuri la distanțe de la 200 pînă la 500 m și cu a dîncimi corespunzătoare pentru determinarea grosimii descoperite și a stratului exploatabil.

4.3.14. EXPLORAREA ROCILOR DE CONSTRUCȚII

Din această categorie fac parte rocile tari, rezistente la solicitări, alterație, eroziune și pretabile la fasonări.

Acestea se clasifică în:

- roci de calitate superioară, utilizate la învelișuri, ornamente etc.;
- roci de calitate medie, care se modelează grosolan și au o rezistență mare;
- roci utilizate sub formă de sfărîmături, ca materiale de umplutură.

Zăcămintele identificate pe baza cartărilor și a prospecțiunilor se explorează în continuare. În explorarea preliminară pregătitoare se efectuează dezveliri, lucrări de foraje și galerii de referință pentru clarificarea extinderii, constituției sorturilor de rocă, procentului diferitelor sorturi și se determină parametrii calității prin probări tehnologice de laborator.

Explorarea preliminară principală se execută printr-o rețea de foraje cu gabarite de la 300 pînă la 1 500 m, pentru precizarea extinderii zăcămintului și a sorturilor pe care le conține, precum și a variației parametrilor calitativi, elementelor de micro-tehnică și variației clivajelor naturale. Pe baza acestor elemente se întocmește studiul tehnico-economic de etapă și proiectarea exploatarei.

Explorarea de detaliu se efectuează în zonele stabilite pentru exploatare, utilizînd foraje și mai rar lucrări miniere. Prin explorarea de detaliu se stabilește volumul necesar de descoperit sau de derocări pentru înlăturarea zonelor alterate și a sterilului.

XII. PROBAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Ing. FILOMENOS SAVIN
Ing. VIOREL BRÂNDĂ

Explorarea substanței minerale utile permite de cele mai multe ori accesul în zăcămint, oferind atât posibilitatea efectuării de observații directe asupra caracteristicilor corpului, cât și posibilitatea recoltării de probe în vederea determinării caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice ale componentelor valorificării. Probarea este o operație foarte importantă în ceea ce privește luarea unor decizii de valorificare a unei substanțe în ceea ce privește luarea unor decizii de valorificare a unei substanțe minerale utile, oferindu-ne totodată posibilitatea dirijării cât mai corecte și mai eficiente a lucrărilor de cercetare geologică și chiar a exploatării.

Probarea, ca parte importantă a cercetării geologice, furnizează o serie de informații, cum ar fi:

- delimitarea zonelor cu mineralizație bogată;
- delimitarea conturului industrial;
- delimitarea diferitelor sorturi de minereu;
- determinarea conținuturilor în componente utili principali și accesorii valorificabile și a componentelor dăunători, în vederea stabilirii condițiilor de valorificare a minereului;

— pentru proiectarea exploatării (mai precis pentru determinarea condițiilor industriale) se poate cunoaște, cu o anumită precizie, comportarea substanțelor minerale utile în diferite faze tehnologice de valorificare etc.

Ca urmare a creșterii necesarului de materii prime minerale din producția internă și a reducerii importului, în etapa actuală trebuie acordată o foarte mare importanță problemei determinării calității substanței minerale utile, problemă care își are rezolvarea în mare parte printr-o probare cât mai corectă și mai sistematică.

1. PRINCIPII DE BAZĂ

1.1. CONDIȚIILE UNEI PROBĂRI CORECTE A ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Probarea, ca parte integrantă a tuturor etapelor de cercetare geologică, cuprinde o serie de faze, cum ar fi:

- recoltarea probelor (prelevarea unei cantități de substanță minerală utilă, care să caracterizeze întreaga cantitate de substanță minerală din care a fost extrasă);
- prelucrarea probelor în funcție de obiectivul urmărit;

- determinarea caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice a materialului probă prelucrat;
- prelucrarea informațiilor obținute în vederea determinării parametrilor de decizie asupra zăcămintului.

În activitatea practică toate fazele menționate mai sus au o deosebită importanță, orice greșală comisă având implicații negative, uneori cu consecințe economice grave, pe tot parcursul cercetării și implicit al valorificării. Pentru evitarea comiterii erorilor, sarcina specialistului este de a veghea în mod direct sau indirect, întreg procesul de probare, respectându-se cu strictețe o serie de condiții privind metodica prelevării probelor, obținerea rezultatelor și interpretarea lor.

1.1.1. OBIECTIVITATEA ȘI REPREZENTATIVITATEA PROBĂRII

Obiectivitatea și reprezentativitatea probării sunt două condiții inseparabile deoarece o probă dacă nu a fost prelevată obiectiv nu poate fi reprezentativă.

Așadar, obiectivitatea trebuie avută în vedere în toate etapele probării, astfel:

- a) În etapa de prelevare trebuie acordată mare atenție în ce privește:
 - metoda de probare, care trebuie să fie aleasă în funcție de tipul de zăcămint și al metodicii de explorare (și nu în mod arbitrar);
 - desimea de probare;
 - mărimea excavațiilor;
 - evitarea contaminării materialului probă (pregătirea locului, captarea materialului excavat, ambalarea materialului, transportul probelor etc.);
 - controlul probării, care trebuie făcut periodic și cu maximum de atenție.
- b) În cazul prelucrării probelor (a doua etapă a probării) trebuie respectate cele patru operații (sfărîmarea, măcinarea, omogenizarea și reducerea materialului probă).
- c) Pentru determinarea caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice trebuie utilizată aparatura de cea mai bună calitate, făcută curățirea aparatului după fiecare probă și folosit personal cu cea mai înaltă specializare și conștiință profesională.
- d) În cazul prelucrării informațiilor obținute trebuie utilizate mai multe metode, verificându-se în acest mod rezultatele și depistarea eventualelor erori comise.

În concluzie, pentru respectarea obiectivității probării trebuie avută o mare atenție, depistându-se la timp toate erorile, indiferent de mărime și trecându-se la eliminarea lor.

Reprezentativitatea probării presupune păstrarea proporțiilor între mineralele care formează probă și mineralele din zona probată sau din zona de influență a lucrării de cercetare. Problema păstrării reprezentativității se pare simplă în cazul zăcămintelor cu un grad mare de uniformitate a componentelor utili, dar ea trebuie rezolvată și pentru zăcămintele cu grad mic de uniformitate sau foarte neuniforme, deci, cu alte cuvinte, în asemenea situații trebuie rezolvate două probleme principiale: 1) *distanța optimă între probe* și 2) *greutatea optimă a probei*.

Din practică rezultă că probarea este cu atât mai reprezentativă cu cât intervalul dintre probe este mai mic (Albov M. H., 1965), dar acest interval nu se poate micșora foarte mult din cauza economicității și a posibilității de probare (lucrare minieră sau foraj). Totuși problema pare a fi rezolvată, luându-se în considerare eroarea admisă de practică pentru diferite clase de zăcămintele.

În ce privește greutatea optimă a probei, trebuie avut în vedere faptul că, ori de câte ori avem de-a face cu mineralizații variabile în componenți utili, este necesar să se determine experimental cantitatea optimă de material probă, în așa fel încât să nu se depășească erorile admise de fiecare clasă de zăcămintele.

O situație aparte apare în cazul zăcămintelor fără o limită netă între roca mineralizată și roca înconjurătoare, situație în care reprezentativitatea este respectată prin calcularea conținutului limită de conturare, conținutului mediu minim și conținutului mediu pe bloc marginal.

În concluzie, trebuie acordată o foarte mare atenție reprezentativității probei, avându-se în vedere următoarele: 1) cantitatea, care reprezintă mineralizația este foarte mică în comparație cu masa mare a corpului; 2) rezultatele probării se iau în considerare în vederea luării unor decizii privind valorificarea zăcămintului.

1.1.2. OPERATIVITATEA ȘI PRODUCTIVITATEA PROBĂRII

Operativitatea și productivitatea probării reprezintă o condiție care trebuie avută în vedere în toate etapele cercetării geologice și mai ales în cazul explorării, deoarece explorarea presupune un număr mare de utilaje și un mare efort financiar. Astfel, operativitatea permite continuarea sau sistarea unor lucrări în etapa de explorare preliminară sau luarea în timp util a unor decizii de a se trece la întocmirea proiectelor de exploatare (în etapa de detaliu), ba mai mult, în cazul zăcămintelor diseminate operativitatea analizelor de laborator conduce la delimitarea resurselor valorificabile la un moment dat.

Productivitatea ridicată rezultă atît printr-o operativitate mare cît și prin folosirea unei metode cît mai productive în cazul aceluiași tip de zăcămint (așa de exemplu, probarea prin găuri de mină sau prin carotaj mecanic influențează productivitatea procesului de probare), alături de organizarea cît mai bună a procesului tehnologic de prelucrare a probelor, alegerea aparaturii corespunzătoare și folosirea unui personal cu înaltă calificare.

Operativitatea și productivitatea probării influențează în mod direct eficiența economică a explorării în general și a probării în special, iar obiectivitatea și reprezentativitatea influențează în mod direct, conducînd astfel la obținerea unei informații cît mai apropiate de realitate, deci, implicit, luarea unor decizii cît mai sigure de realizare a unei eficiențe cît mai mari a cercetării geologice și la sporirea necesarului de materii prime minerale pe economie.

2. TIPURILE PRINCIPALE DE PROBARE UTILIZATE ÎN LUCRĂRILE DE EXPLORARE

Lucrările de explorare ne permit accesul în mod direct la zăcămint (sub baza de eroziune), oferind posibilitatea aplicării unui număr cît mai mare de tipuri de probare, iar alegerea unuia sau a altui tip de probare este în funcție de condițiile concrete existente la un moment dat.

2.1. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR MINERALOGICE (PROBAREA MINERALOGICĂ)

Probarea pentru determinarea caracteristicilor mineralogice se aplică în toate etapele explorării geologice, dar cu precădere în explorarea preliminară, urmărindu-se în principal următoarele aspecte:

- stabilirea compoziției mineralogice;
- repartitia spațială în cadrul corpului de substanță minerală utilă a componentelor mineralogici;
- determinarea compoziției mineralogice cantitative a substanței minerale utile, și apoi determinarea compoziției chimice, lucru care oferă posibilitatea, în unele situații, să se renunțe la probarea chimică;
- stabilirea proprietăților fizice ale mineralelor (duritate, clivaj, friabilitate, proprietăți magnetice, conductibilitate electrică etc.);
- determinarea unor caracteristici necesare stabilirii fluxului tehnologic (grad de concreștere a mineralelor, mărimea granulelor minerale, legătura între mineralele principale și mineralele accesorii etc);
- stabilirea unor parageneze care pot face obiectul unei exploatare separate (selective);
- stabilirea unor zone sterile sau chiar stabilirea limitei industriale a corpului de substanțe minerale utile etc.

Probarea mineralogică se poate aplica pentru toate tipurile de lucrări miniere.

Din cadrul metodelor de probare mineralogică cele mai utilizate sînt: *metoda eșantionării, metoda sorturilor de minereu și metoda bazată pe separări gravitaționale.*

Metoda eșantionării se aplică în cazul zăcămintelor de formă tabulară consolidate și constă în prelevarea de eșantioane (probe) de dimensiuni mici (de pînă la 3–4 dm), după direcția de măsurare a grosimii normale a corpului mineralizat în lucrarea de explorare, fiecare eșantion reprezentînd o probă (elementară) care urmează să fie studiată separat.

Studierea eșantioanelor se face pe baza proprietăților fizice și optice a mineralelor componente, iar studiul acestor proprietăți conduce în final la indicații prețioase cu privire la posibilitățile de valorificare a substanțelor minerale utile.

Caracteristicile calitative (conținutul în componenți mineralogici) se determină cu lupa binoculară sau cu microscopul, urmărindu-se mai multe etape, după cum urmează:

- realizarea unei suprafețe lustruite pe partea reprezentativă a eșantionului, suprafață care trebuie să cuprindă variația maximă a componentelor mineralogici;
- pe suprafața lustruită astfel obținută se așază o sticlă gravată în pătrățele de 25 mm² (sticla avînd formă dreptunghiulară);
- cu ajutorul acestei sticle, sub lupa binoculară (care mărește de 8–10 ori) se planimetrează suprafața (s_i) ocupată de fiecare mineral pe toată suprafața eșantionului;
- se consideră că mineralele din cadrul eșantionului se extind pe aceeași grosime și cu densitatea δ_i ;

— în continuare se determină conținuturile mineralogice (c_j) pentru fiecare tip de mineral j , aplicind succesiv relația:

$$c_j = \frac{s_j \delta_j}{\sum_{i=1}^n s_i \delta_i} \cdot 100 \quad [\%]$$

n fiind numărul de minerale componente; mărind gradul de aproximare se poate înlocui suprafața s cu numărul de ochiuri (pătrățele);
— de la conținutul în mineral se poate trece la conținutul în component util (c_u), luându-se în considerare conținutul teoretic (c_{tj}) al mineralului respectiv și utilizind următoarea formulă

$$c_u = \frac{c_j \cdot c_{tj}}{100} \quad [\%]$$

— în continuare se repetă procedeul pentru fiecare eșantion și pentru toți componenții utili, iar rezultatele sînt comparabile cu ale probării chimice;
— conținuturile medii de minerale utile (\bar{c}_m) pe fiecare loc de probare se determină cu formula:

$$\bar{c}_m = \frac{\sum_{k=1}^e c_{mk} \cdot S_k}{\sum_{k=1}^e S_k} \quad [\%]$$

în care: $m = 1, 2, \dots, r$ reprezintă numărul de componenți mineralogici, $k = 1, 2, 3, \dots, e$ eșantioane, S_k — suprafața șlefuită a eșantionului k ;
— conținutul mediu (\bar{c}) în componenți utili se determină cu formula:

$$\bar{c} = \frac{\bar{c}_m \cdot S_{tj}}{100} \quad [\%], \text{ sau } [g/t] \text{ pentru metale prețioase.}$$

Metoda prezentată permite, de asemenea, punerea în evidență a variației componenților utili în locul de probare, iar dacă nu se urmărește acest lucru (avem mineralizație omogenă), pentru determinarea conținuturilor în minerale sau în componenți utili se însumează suprafața ocupată de fiecare mineral util pe toate eșantioanele de probare (sau numărul de ochiuri) care urmează să fie înmulțite cu densitatea mineralelor respective.

În cazul mineralizațiilor de impregnație, folosirea acestui procedeu conduce la conturarea corpurilor, la dirijarea lucrărilor de explorare sau chiar de exploatare, deoarece procedeul este destul de simplu și rapid, conducind în același timp și la reducerea considerabilă a investiției specifice.

Metoda sorturilor de minereu se aplică în cazul zăcămintelor unde se pot individualiza (din punct de vedere mineralogic și chimic) tipuri de minereu, indiferent dacă acestea se pot extrage în mod separat sau nu în timpul exploatarei. Mai precis, domeniul de aplicare a metodei are extindere asupra zăcămintelor de formă tabulară, în

care distribuția zonală a mineralizației variază în special după grosimea normală și asupra zăcămintelor sub formă de stockwerk (metasomatică), unde pot apărea zone de concentrații mai mari sau mai mici de formă concentrică.

La aplicarea metodei, de regulă, se urmăresc mai multe etape cum sînt:

- cartarea geologică detaliată a locului de probare (tavanul galeriei, perete sau front), scara 1: 100, 1: 50, 1: 20, cu delimitarea cât mai corectă a sorturilor de minereu;
- determinarea conținuturilor medii în componenți utili pe tipuri de minereu, determinare care se face pe probe chimice sau mineralogice;
- determinarea masei volumetrice pe fiecare tip de minereu;
- calculul conținuturilor medii pe tipuri de minereu, cu relațiile:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{c}_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad [\%], \text{ pentru corpurile sub formă tabulară și}$$

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{c}_i \cdot s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad [\%], \text{ pentru corpurile sub formă de stock,}$$

în care:

\bar{c} este conținutul mediu într-un anumit element sau mineral util; \bar{c}_i — conținutul mediu în element sau mineral a tipului de minereu i ; g_i — grosimea tipului de minereu i ; s_i — suprafața tipului de minereu i ; n — numărul tipurilor de minereuri diferențiate.

În cazul în care tipurile de minereu au mase volumetrice net diferențiate, atunci în relațiile de mai sus se ponderează și cu masa volumetrică.

Grosimile g_i și suprafețele s_i se măsoară pe planșă, ținându-se seama de scara de cartare, iar măsurătorile se fac la echidistanțe stabilite în mod experimental.

Rezultatele obținute în acest mod au un caracter informativ, iar metoda se aplică numai în cazul explorării cu lucrări miniere. Totuși, metoda în sine se caracterizează prin operativitate și economicitate ridicată, deoarece nu presupune recoltarea de probe geologice.

Metoda bazată pe separări gravitaționale se aplică în cazul explorării zăcămintelor de substanțe minerale utile aluvionare, în care separarea mineralelor utile de cele de gangă se poate face în mod gravitațional.

Etapele probării:

- recoltarea materialului probă (prelevarea probei) se face:
 - din lucrări miniere (puțuri de mină și galerii);
 - prin dragaj (în cazul zăcămintelor situate sub apă);
 - din foraje;
- dezagregarea, care presupune desfacerea materialului probă în particule monominerale;
- spălarea probei, operație în care mineralele cu densitate mare (utile) sînt reținute, iar cele cu densitate mică sînt eliminate;

- separarea, care se face cu căușul sau șaitrocul cu apă mai puțină, iar identificarea elementelor utile se face după culoare;
 - uscarea se realizează în vase metalice speciale sau chiar în căuș;
 - determinarea conținutului în minerale grele, care se face prin cântărire.
- Metoda este simplă, de un caracter informativ, ceea ce face să fie folosită în primele etape ale explorării sau chiar și în etapa de detaliu, pentru dirijarea lucrărilor.

2.2. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR CHIMICE

Acest tip de probare este necesar în oricare dintre etapele de cercetare geologică, urmărindu-se, în cazul zăcămintelor metalifere, determinarea componentelor utili și dăunători, iar în cazul zăcămintelor nemetalifere și a rocilor utile, prin acest tip de probare se urmărește și determinarea altor caracteristici.

Dintre metodele cele mai utilizate în practică sînt prezentate în continuare cele mai importante din punct de vedere al aplicabilității.

Probarea substanței minerale utile prin brazde are o foarte mare aplicabilitate în toate fazele de cercetare geologică și constă în realizarea unei excavații — pe tavanul, frontul sau unul din pereții lucrării miniere — de forma unei prisme drepte (dreptunghiulare sau triunghiulare), iar materialul rezultat reprezintă proba.

La prelevarea unei brazde trebuie să se țină seama de o serie de factori cum ar fi:

- lungimea brazdei (axa mare) să fie orientată după direcția de variație maximă a mineralizației (de regulă după grosimea normală sau aparentă a corpului);
- de regulă, probele se iau după întreaga grosime de variație a substanței minerale utile și numai în cazul unei omogenități foarte mari se admit abateri de la această regulă;
- se vor menține aceleași dimensiuni ale brazdelor pe toată porțiunea de prelevare;
- desimea probelor trebuie să mențină caracterul reprezentativ al probării;
- locurile de probare se pregătesc în așa fel încît să se evite contaminarea probelor;
- dimensiunile excavațiilor (brazdelor) se aleg în funcție de gradul de neuniformitate al mineralizației și de tăria rocilor etc.

Mărimea secțiunii transversale se ia, de regulă, invers proporțională cu gradul de uniformitate a distribuției componentelor utili din cadrul mineralizației. Duritatea influențează în cea mai mare parte mijloacele de prelevare și costul operației de probare. În practică se recoltează probe cu dimensiuni transversale de 100×50 mm sau de 100×30 mm, 100 mm reprezentînd lățimea brazdei, iar 50 mm respectiv 30 mm adîncimea. Aceste dimensiuni nu se respectă întotdeauna deoarece există o serie de situații concrete cînd ele variază pentru păstrarea caracterului reprezentativ al probării; astfel în cazul mineralizațiilor foarte neuniforme, dimensiunile se iau în funcție de greutatea minimă admisă a materialului care constituie proba (pe unele porțiuni ale corpului, unde variația componentelor utili este mare, probele trebuie să aibă dimensiuni mari și invers), iar pentru mineralizații cu variații mici brazdele pot avea dimensiuni mai mici decît cele prezentate.

Lungimea brazdelor se alege în funcție de grosimea corpului și de caracterul mineralizației. Pentru corpuri cu grosime de pînă la 1,20 m se recoltează o singură

probă în locul respectiv, iar dacă grosimea corpului este cuprinsă între 1,20 și 2,00 se pot lua:

- o singură probă (mineralizație omogenă);
- două probe egale (mineralizație mai puțin omogenă);
- mai multe probe, fiecare avînd lungimea egală cu grosimea unui tip de minereu.

În cazul corpurilor de grosime mare (> 2 m) lungimea probei poate fi ≥ 1 m, în funcție de omogenitatea mineralizației. Secționarea probelor urmărește în principal probarea selectivă a tipurilor de minereu, care s-ar putea extrage în mod separat în procesul exploatării. Pentru mineralizații omogene și foarte omogene lungimea probelor poate fi foarte mare (o probă poate fi chiar pe toată grosimea corpului), realizîndu-se astfel o eficiență mai mare a procesului de probare. Un caz cu totul aparte îl constituie corpurile de dimensiuni mari care nu au limite nete cu roca înconjurătoare, cînd spre limita presupusă se recomandă probarea prin brazde cu lungime de circa 1 m, deoarece limita corpului se stabilește pe baza analizelor chimice.

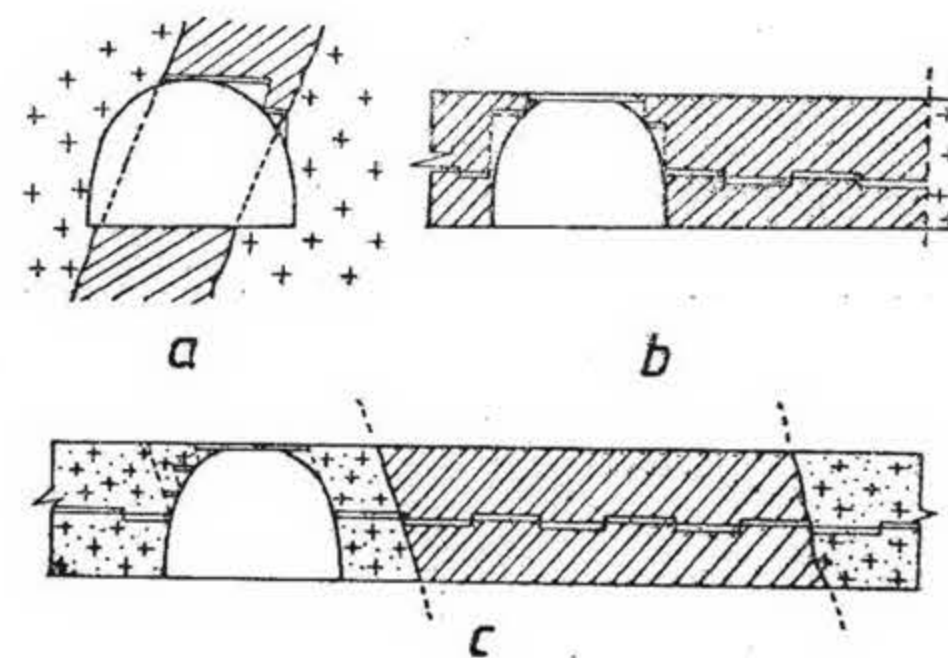
În concluzie, pentru corpuri de substanțe minerale utile de dimensiuni mari se recomandă ca probele să aibă lungime cît mai mare, fără a se afecta caracterul reprezentativ, realizîndu-se un număr cît mai mic de analize chimice și deci implicit o probare cît mai economică, iar secționarea probelor se va face numai în cazul în care situația concretă impune acest lucru.

Prelevarea probelor prin brazde presupune trei operații principale: *pregătirea locului de probare, marcarea probelor și extragerea propriu-zisă.*

— *Pregătirea locului* se impune pentru evitarea contaminării probei, deoarece, de regulă, probele se recoltează pe măsură ce se sapă lucrarea minieră și înainte de susținere. În cazul lucrărilor miniere, în urma exploziei de înaintare și după evacuarea materialului derocat, locul de probare prezintă două caracteristici care trebuie înlăturate, astfel: suprafața are o serie de neregularități (în special tavanul galeriei) și în același timp este acoperită cu praf care ar conduce la contaminarea materialului probă (deoarece praful provine din alte locuri decît cel de probare). Dacă s-ar proba o suprafață cu neregularități, lungimea probei ar fi mai mare decît grosimea corpului

Fig. XII.1. Modul de pregătire a locului de prelevare a probelor în cazul galeriilor direcționale:

a — zăcămintă de grosime mică și înclinare mare; b — zăcămintă de grosime mare, cu limite verticale; c — zăcămintă de grosime mare cu limite înclinate.



ba mai mult, în cazul mineralizațiilor rubanate, în materialul probă s-ar introduce o cantitate mai mare decît cea reprezentativă. Pentru a evita o asemenea situație se urmărește ca suprafața de probare să fie cît mai plană, realizîndu-se acest lucru prin lucrări de nivelare (fără a se schimba locul de prelevare a probei), iar în cazul în care profilul galeriei este curbat se fac o serie de trepte ajutătoare (fig. XII.1), astfel încît proba să se recolteze tot după plane drepte.

În cazul în care se probează galerii vechi, locul de probare se curăță prin înlăturarea întregii cantități de mineralizație oxidată.

După nivelarea suprafeței de probare, pentru înlăturarea particulelor de praf se spală locul cu jet puternic de apă, după care se lasă să se usuce.

— *Marcarea brazdelor*, este cea de a doua operație ce urmează după uscarea locului de probare și care se face cu vopsea, cu fum de la lampa cu carbid sau cu cretă, iar numărul probei se marchează întotdeauna cu vopsea, pentru a se menține cât mai mult (fig. XII.2). După susținerea porțiunii de galerie, numărul probei se marchează pe armături prin tăblițe sau chiar direct cu vopsea pe armătura de lemn sau de beton.

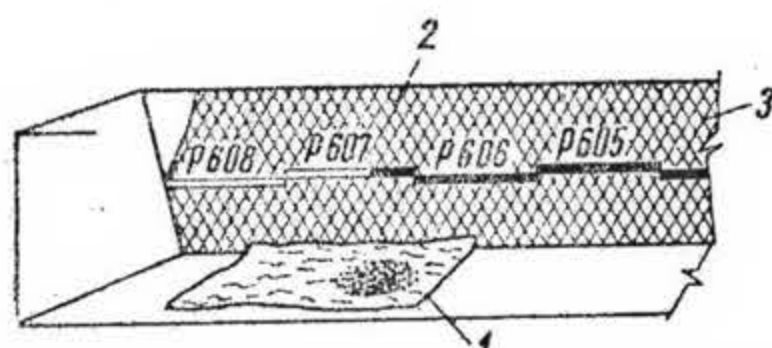


Fig. XII.2. Marcarea locului de prelevare a probelor și modul de așezare a prelatei pentru colectarea materialului probei în cazul probării manuale:

1 — prelată; 2 — nișă (galerie transversală scurtă); 3 — corp de substanță minerală utilă.

— *Extragerea propriu-zisă* a materialului probă se poate face manual sau mecanic. În cazul în care prelevarea probei se face manual, sub locul de prelevare se așază o prelată curată pentru a se putea colecta tot materialul derocat și pentru a evita contaminarea probei (fig. XII.2). După recoltarea unei probe prelată se curăță bine pentru evitarea contaminării probei următoare.

Când prelevarea se face mecanizat, dispozitivul de recoltare este prevăzut cu anexe de recoltare a materialului probă direct în săculeț, dar cum în România nu s-au generalizat încă asemenea dispozitive, trebuie acordată o foarte mare atenție recoltării manuale.

Extragerea manuală a probei brazdă se face cu o serie de unelte, în funcție de tăria substanței minerale utile. Astfel, pentru mineralizații cu duritate mică se poate folosi toporul-teslă. Când duritatea este mai mare și foarte mare se folosește

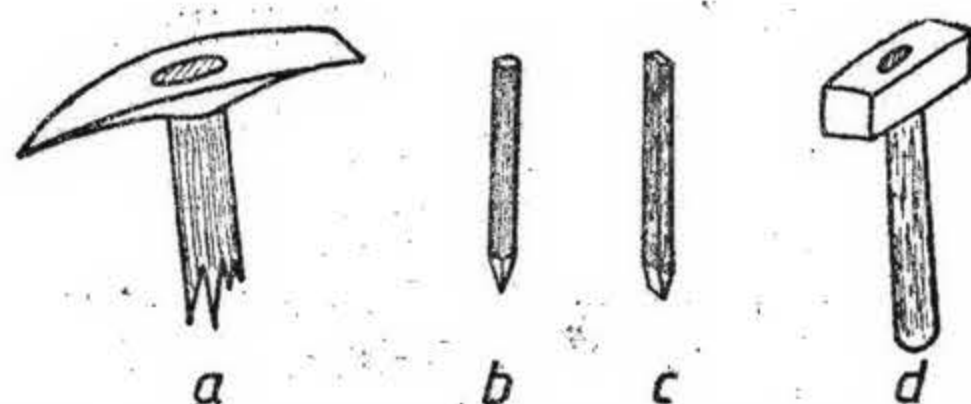


Fig. XII.3. Unelte pentru extragerea manuală a probelor brazdă:

a — topor teslă; b — țâncuș; c — dalta; d — fistău.

dalta, țâncușul (șpițul) și fistăul (fig. XII.3). Oțelul din care sînt confecționate aceste unelte trebuie să fie de calitate foarte bună. De aceea ele se confecționează, de regulă, din capete rămase de la sfredelele de perforare a găurilor de mină.

Modul de prelevare a probei constă în realizarea unui șanț pe conturul marcat (fig. XII.4), șanț care se poate realiza cu unelte menționate mai sus sau mecanizat prin tăiere cu discuri acționate hidraulic sau electric (în funcție de condițiile de lucru).

După realizarea șanțului de contur urmează extragerea propriu-zisă a probei care se face cu dalta, țîrcușul sau chiar cu toporul-teslă, în funcție de duritatea materialului care urmează a se proba.

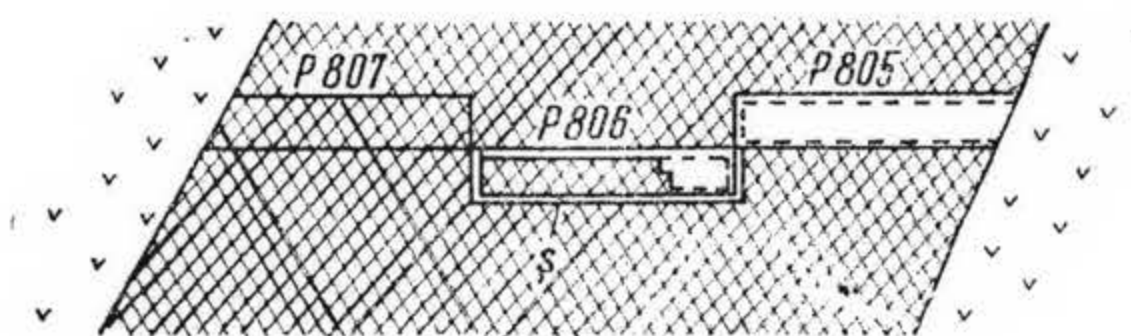


Fig. XII.4. Modul de extragere a probei brazdă:
s — șanț; P805 — probă prelevată; P806 — probă în curs de prelevare; P807 — probă marcată pentru prelevare.

Înainte de începerea extragerii probei se fixează prelată cu suprafața de 2—3 m², în funcție de condițiile de lucru, astfel: în cazul galeriilor se poate așeza pe vatră când locul respectiv este uscat, sau ridicată pe o capră de lemn sau de metal, în cazul locurilor umede; aceleași situații se pot întîlni și în cazul coborîtorilor; în cazul suitorilor prelată se fixează pe poduri.

Se recomandă ca prelată să fie spălată și foarte bine curățată după recoltarea fiecărei probe, deși acest lucru presupune un număr mare de prelate care să fie folosite. Pentru evitarea acestui inconvenient, deasupra prelatei se poate așeza o folie de plastic, care se poate curăța foarte ușor; de asemenea, se pot utiliza prelate cauciucate sau confecționate din fibre sintetice, ce nu rețin în țesătură mineralele fine, care ar contamina proba următoare. Tot pentru a mări productivitatea probării se pot confecționa jgheaburi de tablă care au avantajul curățirii foarte rapide.

După dislocarea materialului probă din locul de probare, urmează trecerea acestuia în săculeți care au diferite dimensiuni, în funcție de volumul probei (15×20; 20×40 cm), care sînt confecționați din material rezistent. Pentru a putea fi folosiți cât mai mult timp și pentru a nu se contamina proba, s-a trecut la confecționarea de săculeți cu căptușeală din plastic sau chiar săculeți cauciucați. Săculeții obișnuiți (din țesătură de in, de bumbac sau de cîneapă) după fiecare utilizare se spală bine și se usucă, după care se întorc pe partea cealaltă.

Fiecare probă este însoțită de *actul de identitate*, act care constă din două etichete ce trebuie să cuprindă: numărul probei, locul, data, numele și prenumele probatorului care a prelevat-o. Prima etichetă se pune în interiorul săculețului; dar cum de cele mai multe ori materialul probei este umed, pentru a se evita deteriorarea ei, eticheta se ambalează în folii de plastic sau se pune în tuburi care oferă etanșitatea. A doua etichetă poate fi din lemn sau din tablă și se atașează la sfoara cu care se leagă săculețul.

Legarea săculeților trebuie făcută cu foarte mare atenție, pentru a se evita risipirea materialului probă în timpul transportului din lucrarea minieră la suprafață și de la șantier la laboratorul de analize chimice. Ea se face prin două locuri: prima dată se strînge gura săculețului și se leagă, după care se răsuțește porțiunea fără material și se mai leagă cu aceeași sfoară cît mai aproape de material.

Pentru mineralizații cu omogenitate mare, omogenitate verificată, se pot înlocui brazdele menționate mai sus prin *probarea punctiformă* care, în final, conduce tot la o excavație sub formă de brazdă.

Această metodă constă în desprinderea de bucăți de dimensiuni de pină la 3–5 cm, una de lângă alta, din corpul de substanță minerală utilă (fig. XII.5). Acest mod de prelevare nu necesită prelată sau dispozitiv de colectare, iar timpul de prelevare a unei probe se reduce simțitor.

Aplicarea metodei necesită o verificare prealabilă prin brazde obișnuite și, în funcție de rezultate, se poate trece la aplicarea ei și pentru alte porțiuni de zăcămint.

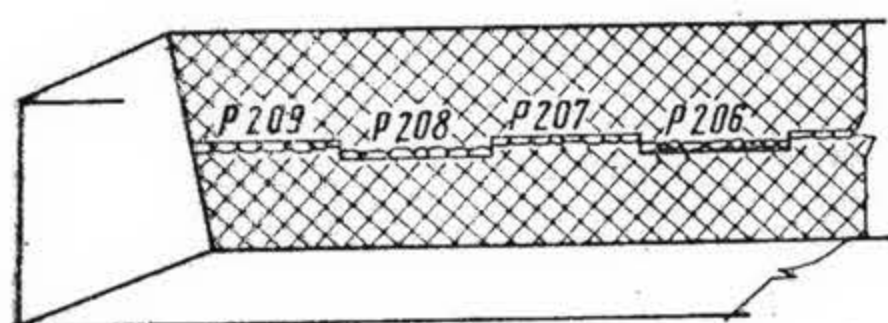


Fig. XII.5. Modul de dispunere a punctelor în probarea prin brazde punctiforme:

P 206... P 209 — probe brazdă punctiformă.

Prelevarea manuală a probelor brazdă este o operație care necesită, în cazul substanței minerale utile cu duritate mare, un volum mare de muncă, deci un cost destul de ridicat și un volum mare de timp (operativitate scăzută), care are influență mare asupra procesului de explorare, prin faptul că dirijarea lucrărilor de explorare se face foarte încet, în special în cazul zăcămintelor diseminate.

În cazul mineralizațiilor cu duritate scăzută, prelevarea manuală dă rezultate foarte bune deoarece sporește gradul de reprezentativitate.

Pentru mineralizațiile cu duritate ridicată la care se aplică metoda brazdelor, s-a impus mecanizarea procesului de extragere a probei, în acest sens făcându-se o serie de încercări cu rezultate bune. Dintre dispozitivele utilizate se menționează:

— dispozitivul mecanic realizat în U.R.S.S. de Institutul Unional pentru Tehnica Explorării (V.I.T.R.), care constă din atașarea la ciocanul de abataj a unei piese în formă de „U” cu dinți de tăiere;

— dispozitivul de tăiere a șanțurilor de contur a probei cu discuri cu inserții de diamante, extragerea probei din interiorul conturului făcându-se tot manual;

— dispozitivele I.P. — 6401 și I.E. 6404 care au caracteristici asemănătoare cu cel de mai sus, primul fiind cu acționare pneumatică, iar cel de al doilea cu acționare electrică etc.

Dispozitivele menționate mai sus nu se aplică în România, lucru pentru care nici nu se va insista asupra descrierilor și a caracteristicilor tehnice.

În România s-au făcut și continuă să se facă o serie de eforturi pentru rezolvarea problemei. Astfel, un colectiv de la I.P.E.G. Suceava — Cîmpulung Moldovenesc a realizat un dispozitiv pentru prelevarea mecanizată a probelor brazdă, dispozitiv care se află în curs de omologare și brevetare ca invenție la O.S.I.M.

Probarea substanței minerale utile prin brazde răzuite. Această metodă de probare este o variantă a metodei brazdelor și are următoarele caracteristici:

— lățimea brazdelor este mai mare de circa 10–20 ori, iar adâncimea este cuprinsă între 5–10 cm;

— în cazul mineralizațiilor foarte neomogene răzuirea se face pe toată suprafața deschisă a zăcămintului;

— masa excavată este mult mai mare;

— se aplică în cazul mineralizațiilor cu valoare economică mare (ex. mineralizații cu metale nobile și rare);

— se poate utiliza și în cazul controlului probării;

— are domeniu de aplicare destul de limitat, ca urmare a costului ridicat;

— se aplică în urma unei cercetări experimentale și cînd este mai avantajoasă decît metoda brazdelor obișnuite etc.

Asemănarea cu metoda brazdelor obișnuite este mare și constă în faptul că:

— extragerea probei se face prin aceleași metode, iar denumirea a fost dată ca urmare a suprafeței mari de recoltare;

— la prelevare se execută aceleași operații ca și în cazul brazdelor.

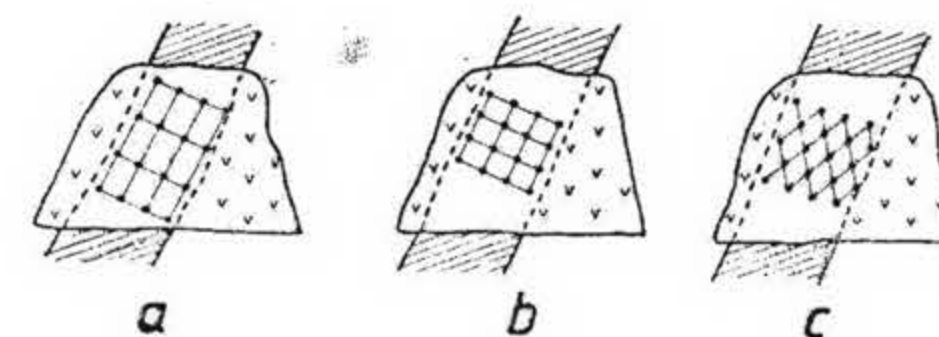
Rezultatele obținute sînt mult mai precise dacă se respectă toate condițiile metodologice de probare, iar pentru a se menține caracterul reprezentativ trebuie menținută adîncimea de probare constantă.

Metoda de probare prin răzuire se poate aplica la toate tipurile de lucrări miniere, la fel ca și metoda precedentă, cu unele caracteristici asupra cărora se va insista în capitolul următor.

Probarea substanței minerale utile prin metoda punctelor. În cazul acestei metode, proba constă în comasarea probelor parțiale care se iau din nodurile unei rețele de formă dreptunghiulară, pătratică sau rombică (fig. XII.6), rețeaua alegîndu-se în funcție de gradul de rubanare a mineralizației.

Fig. XII.6. Modul de repartitie a punctelor:

a — rețea dreptunghiulară; b — rețea pătratică; c — rețea rombică.



Metoda este operațională și cuprinde următoarele etape:

— pregătirea locului de probare, care se face la fel ca și în cazul metodei brazdelor;

— marcarea rețelei de probare cu cretă, vopsea sau fum de la lampa cu carbid;

— prelevarea probei, care se face în funcție de duritatea rocilor, cu țincușul, dalta și fistăul în roci cu duritate mare, cu ciocanul geologic în cazul rocilor cu duritate mică, iar în ultimul timp prin găuri de mină;

— colectarea materialului din probele parțiale, material care este de 10–15 g, și comasarea lui în săculeți sau recipiente (pentru găurile de mină). Numărul de probe se stabilește prin încercări și comparînd rezultatele cu altă metodă (brazde sau brazde răzuite) pe aceeași suprafață de probare. Din practică se știe că cu cît numărul de probe parțiale este mai mare cu atît reprezentativitatea este mai bună și invers.

Metoda de probare prin puncte se poate aplica la toate corpurile cu mineralizații omogene: corpuri cu mineralizații masive — metasomatice, de impregnație sau cu variații mici ale mineralizației (este cazul mineralizațiilor de fier, mangan etc.), a corpurilor de cărbuni, roci utile etc.

Se recomandă în aplicarea rocilor cu duritate mare, deoarece este mult mai economică și mai operativă decît celelalte metode.

Probarea substanței minerale utile prin ștufe (eșantioane). Constă în prelevarea manuală sau mecanică a unor bucăți (eșantioane) de mineralizație, de masă cuprinsă între 0,5 și 2 kg. Proba poate fi constituită din una sau mai multe ștufe, în funcție de gradul de neuniformitate a componentilor utili; în cazul mineralizației cu textură paralelă se ia câte un eșantion din fiecare bandă mineralizată, în așa fel încât după prelevarea tuturor ștufelor să se obțină o probă reprezentativă.

Probele astfel recoltate pot fi cercetate sub mai multe aspecte, astfel: mineralogic, petrografic, din punct de vedere al indicatorilor calitativi — pentru roci utile, chimic și chiar tehnologic în fază de laborator. Când se analizează chimic au mai mult un caracter informativ, de orientare a lucrărilor de cercetare; din acest motiv se aplică mai mult după ce ne-am convins de gradul de omogenitate (deci, dacă se poate aplica sau nu) prin alte metode de probare.

Aplicarea acestei metode este destul de limitată deoarece are un caracter subiectiv, conducând în final la erori mari.

Probarea substanței minerale utile prin găuri de mină. În cadrul acestei metode intră, în special, găurile de mină care se execută în scopul înaintării lucrării miniere respective, iar dacă nu sînt asemenea situații se pot executa și găuri speciale.

Această metodă rezolvă o serie de probleme cum ar fi:

- mecanizarea;
- operativitatea;
- economicitatea etc.

Materialul probă are o granulație fină, este uscat sau umed și reprezintă numai partea săpată în corpul de substanță minerală utilă și nu săpată și în roca sterilă.

Reprezentativitatea probării nu este întotdeauna îndeplinită, ca urmare a nerezolvării în totalitate a problemei captării materialului probă, ceea ce face să fie recomandată numai în cazuri complet argumentate.

Avantajele metodei sînt:

— grad mare de reprezentativitate (ca urmare a păstrării aceleiași dimensiuni în cazul găurii de mină) în cazul corpurilor cu mineralizație omogenă sau foarte omogenă;

— dacă posibilitatea detectării și conturării de corpuri de substanțe minerale utile neinterceptate de lucrări de explorare (fig. XII.7);

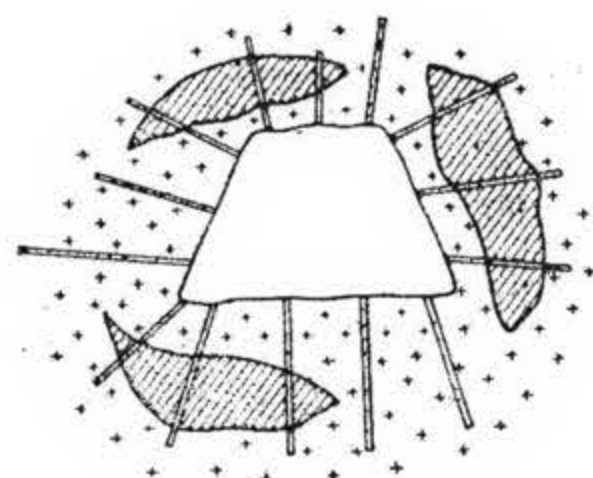


Fig. XII.7. Amplasarea găurilor de mină în vederea detectării a noi corpuri de substanță minerală utilă.

— se poate face probarea concomitent cu săparea lucrării miniere, chiar și când se execută lucrări suplimentare;

— materialul probă se prezintă gata sfărîmat, măcinat și omogenizat, nemaifiind nevoie decât de majorare înainte de efectuarea analizelor chimice;

— gradul înalt de mecanizare conferă metodei o mare operativitate și implicit o mare economicitate;

— în cazul cînd se pune problema exploatării pilierilor de siguranță se poate face o probare pe toată grosimea lor etc.

Dezavantajele metodei:

— în cazul zăcămintelor de grosime medie sau mică obținerea probelor este destul de imprecisă, ca urmare a traversării atît a rocilor din acoperiș cît și a celor din culcușul corpului de substanță minerală utilă;

— în situația rocilor fisurate sau cu cavități (geode) se pierde material probă;

— în cazul corpurilor cu benzi de minerale friabile se poate introduce o eroare sistematică;

— nu întotdeauna axa găurii de mină corespunde cu direcția de variație maximă a mineralizației, ceea ce conduce la scăderea caracterului reprezentativ etc.

Cu toate dezavantajele enumerate mai sus, totuși metoda se folosește, dar niciodată fără a fi verificată pe o porțiune de zăcămint care a fost probată și prin alte metode.

Proba în sine poate fi constituită din materialul prelevat de la o singură gaură de mină (probă elementară) sau din mai multe, pînă la toate găurile dintr-un ciclu de înaintare.

Probarea prin această metodă se face în găuri scurte (1,5—3 m) în cazul corpurilor sub formă de stock sau stockwerk (cazul cel mai avantajos de aplicare), corpuri de formă tabulară de diferite dimensiuni, sau prin găuri lungi de pînă la 100 m (probele în această situație se secționează în tronșoane de pînă la 2 m lungime) pentru:

— corpuri lentiliforme;

— filoane satelit;

— apofizele corpului sub formă de stock sau stockwerk.

Pentru probarea zăcămintelor care se prezintă sub formă de volburi, stokuri, impregnații, cu structură compactă, în România s-a brevetat ca invenție „Dispozitivul de recoltat probe geologice prin metoda găurilor de mină” realizat de colectivul de geologi de la Roșia-Montană (jud. Alba).

Dispozitivul (fig. XII.8) permite recoltarea de probe geologice continuu, din metru în metru, sub un unghi de 40° față de axa galeriei, lungimea găurii fiind de 1,30 m, iar caracterul continuu se realizează prin proiectarea probelor pe axul galeriei.

Modul de recoltare a probei geologice constă în perforarea unei găuri la locul de probare, în lungime de 15 cm, cu cap detașabil cu diametrul de 62 mm (fără recuperarea materialului), după care în gaura astfel formată se introduce tubul metalic 3, care se fixează, realizîndu-se o etanșeitate perfectă între acesta și pereții găurii de mină. Prin tubul metalic se introduce tija perforatorului prevăzută cu un cap detașabil cu diametrul de 45 mm. Pe porțiunea din tubul metalic rămasă în afara găurii de mină și pe tija perforatorului 7 se aplică camera de evacuare a noroiului 4, pusă în legătură printr-un furtun de cauciuc 5, cu vasul de colectare 6. Noroiul rezultat în urma perforării găurii de mină (material probă plus apă) este evacuat în vasul de colectare pînă la decantare totală, iar apoi prin eliminarea apei se obține materialul probă, care urmează să fie supus analizelor de laborator.

La o gaură de mină cu lungime de 1,00—1,30 m, în funcție de diametrul corpului detașabil și greutatea specifică a rocii mineralizate, în mod teoretic se obțin 3—5 kg de material; practic prin cîntăriri s-au obținut, la un recuperaj de 92%, probe cu greutate de 2,90—4,10 kg.

Dintre avantajele acestui dispozitiv de recoltat probe geologice se menționează:

— mecanizarea lucrărilor de probare geologică;

— ușurința manevrării;

— adaptarea la orice fel de perforator;

- utilizează același tip de energie care se folosește și la săparea lucrărilor miniere;
- obținerea unui recuperaj bun (92%);
- nu se produc pierderi privind conținutul în componenți utili;
- are productivitate mare (3—4 m liniari pe post);
- costul unei probe mecanice este de 4—5 ori mai mic decât al unei probe manuale.

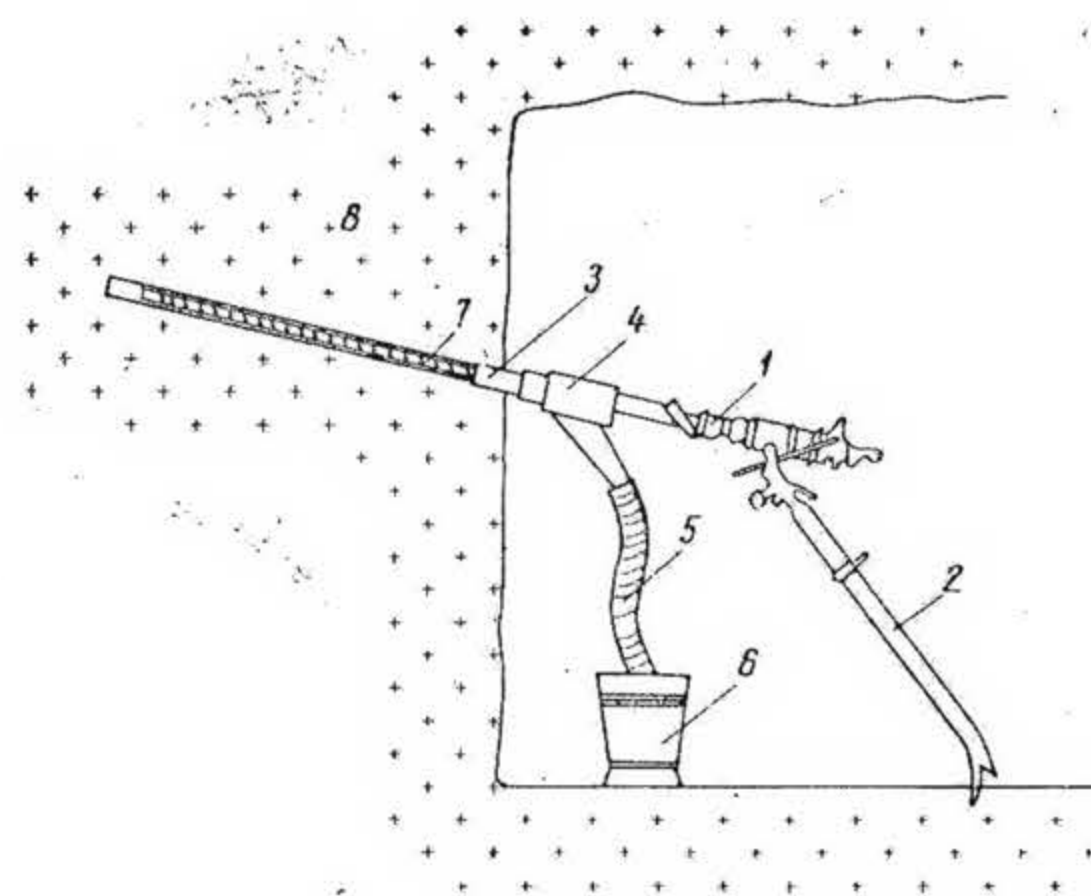


Fig. XII.8. Dispozitiv de recoltat probe geologice prin metoda găurilor de mină realizat de colectivul de geologi de la Roșia-Montană jud. Alba):

1 — perforator; 2 — coloană de susținere; 3 — tub metalic;
4 — cameră de evacuare a noroiului; 5 — furtun de cauciuc;
6 — vas de colectare; 7 — sfredel de perforare; 8 — front de galerie mineralizat.

Utilizarea dispozitivului se face ori de câte ori condițiile geologice impun acest lucru, și pentru a nu se introduce erori se fac încercări experimentale.

Metoda de probare globală. Se încadrează la metodele de probare pentru determinarea conținutului în componenți utili deoarece servește întotdeauna la determinarea acestora, deși se utilizează și în cazul metodelor pentru determinarea caracteristicilor tehnice și tehnologice.

Probele se prelevează în momentul săpării lucrărilor de explorare (galerii, suitori, puțuri de mină și șanțuri), iar cantitatea de material probă este formată fie din toată masa rezultată la săpare într-un ciclu de înaintare, fie numai din o parte din această masă. Când proba este constituită numai dintr-o parte de material excavat, aceasta se obține în timpul încărcării materialului în vagonete (la un anumit număr de lopeți se reține o lopată pentru probă) sau în timpul transportului (când la un anumit număr de vagonete cu material de haldare unul se reține pentru probă).

Pentru aplicarea metodei de probare globală, materialul excavat trebuie să aibă o anumită granulație, altfel se pot introduce erori sistematice.

Când rezultatele probării globale se folosesc la calculul rezervelor, probele se iau sistematic, în funcție de gradul de neuniformitate al mineralizației, astfel:

— pentru mineralizații extrem de neuniforme probele se iau în mod continuu, după fiecare ciclu de înaintare;

— în cazul mineralizațiilor neuniforme și foarte neuniforme probele se prelevează la un anumit număr de cicluri de înaintare (3—4 cicluri).

Având în vedere că masa probei este mare (zeci de tone), pentru prelucrare se pot întocmi scheme de reducere, dar trebuie avută mare grijă pentru păstrarea caracterului reprezentativ al probării.

Avantajele metodei constau în faptul că rezultatele au o precizie mare și că probarea nu influențează negativ ciclograma de înaintare a lucrării miniere.

Dezavantajele rezultă din cheltuielile ridicate de transport și prelucrare și din imposibilitatea evitării includerii în probă a rocilor din acoperiș și culcuș.

Domeniul de aplicare al metodei este destul de mare, astfel:

— în cazul corpurilor de substanțe minerale utile tabulare cu grosime mai mică de 2 m se pot lua probe la fiecare ciclu de înaintare sau discontinuu, la anumită echi-distanță;

— în cazul corpurilor tabulare cu grosime mare probele se prelevează continuu (la fiecare ciclu de înaintare) din nișele de explorare;

— în cazul corpurilor de alte forme probele se prelevează continuu sau discontinuu (după gradul de uniformitate a componentilor utili), dar numai din lucrările care explorează zăcămintul.

În concluzie, aplicarea uneia sau alteia dintre metodele de probare în lucrări miniere trebuie făcută cu mult discernământ și se recomandă ca în prima fază a explorării geologice, pe o porțiune reprezentativă din zăcămint (cunoscută din prospecțiune) să se experimenteze una sau mai multe metode, urmînd a se aplica metoda care îndeplinește cel mai bine condițiile unei probări corecte. La aplicarea metodologiei de probare prezentată mai sus trebuie să se țină seama de condițiile de zăcămint și de gradul de mecanizare de care se dispune la momentul respectiv.

2.3. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR TEHNICE

Acest mod de probare se aplică pentru determinarea:

- masei volumetrice;
- umidității;
- coeficientul de afinare;
- tăriei rocilor;
- coeficientului de rupere la împușcare;
- rezistenței la compresiune, la șoc mecanic, la forfecare etc.

Probarea în vederea stabilirii masei volumetrice. Se efectuează pe sorturi industriale de substanță minerală utilă, care se pot exploata separat sau în cadrul aceluiasi sort, cînd apar variații mari ale compoziției mineralogice (deci și variații ale masei volumetrice).

Masa volumetrică este un parametru principal de calcul al rezervelor de substanțe minerale utile și, indiferent de metoda de probare și de procedeul de determinare, trebuie să exprime masa unității de volum în condițiile de zăcămint.

Pentru determinarea masei volumetrice se folosește *metoda globală* sau *metoda eșantionării* (eșantioanele având forme geometrice executate în condiții speciale).

În cazul metodei globale excavațiile executate prin împușcare se rectifică la o formă cit mai geometrică (pentru determinarea volumului golului excavat). Prin cântărirea masei obținute și prin raportarea acesteia la volumul excavației se obține masa volumetrică în punctul de probare. Având în vedere faptul că executarea unei asemenea excavații este destul de costisitoare, determinarea masei volumetrice se face pe proba globală recoltată pentru determinarea caracteristicilor chimice, iar pentru obținerea unei valori medii cit mai apropiate de cea reală, se recomandă ca probele globale să fie cit mai uniform distribuite pe unitatea de calcul a rezervei.

Cînd mineralizația are mai puține goluri, iar acestea nu au o influență deosebită asupra determinării masei volumetrice, proba se ia sub forma unei excavații de formă cubică sau prismatică. Dacă roca mineralizată sau chiar mineralizația are tărie mare, excavația se poate face cu explozivi și pe urmă se aduce la forma cerută, cu dalta și ciocanul. În cazul rocilor plastice substanța minerală utilă se extrage sub formă de monolit de formă dreptunghiulară, cu latura mare perpendiculară pe stratificație. Volumul prismei se determină prin măsurarea dimensiunilor cu ruleta, iar masa prin cântărire.

În condiții de laborator, masa volumetrică se determină (folosind aparatura din dotare) pe eșantioane provenite prin metodele de probare menționate, cu condiția păstrării reprezentativității probei. Eșantioanele cu pori mari sau chiar fisuri, după cântărire se parafinează pentru determinarea mai exactă a volumului.

Cînd substanța minerală utilă este foarte compactă (deci masa volumetrică este apropiată de densitate), se poate folosi la determinări *picnometrul* (cantitatea necesară fiind de 1–2 g), materialul pentru determinări putînd proveni din proba duplicat de la analizele chimice.

În vederea ridicării productivității și a măririi eficienței economice, probele pentru determinarea caracteristicilor tehnice se pot analiza în vederea stabilirii umidității, permeabilității, capacității de absorbție etc.

Pentru mineralizațiile metalifere se recomandă să se stabilească masa volumetrică și în funcție de conținutul în componenți utili, luîndu-se în considerare corelația care există între acești parametri.

Probarea în vederea determinării umidității. Determinarea umidității se impune în cazul calculului de rezerve cînd aceasta influențează masa volumetrică și conținutul în componenți utili, care trebuie determinați pe probe uscate. Corecțiile trebuie făcute cînd umiditatea este accentuată.

Pentru determinarea umidității se iau probe răspîndite cit mai omogen pe unitatea de calcul a rezervei, iar pentru determinarea cit mai reprezentativă se recomandă ca acestea să se facă imediat după prelevarea probei.

Materialul probă provenit din prelevarea probelor obișnuite (prin metodele menționate mai sus) pentru determinarea caracteristicilor chimice se cântărește la umiditatea din zăcămint, se sfărîmă pînă la dimensiuni de 10–20 mm, după care se usucă la o temperatură de 105°C pentru eliminarea apei și se cântărește din nou, iar umiditatea (u) se determină cu formula:

$$u = \frac{m_z - m_u}{m_z} \cdot 100 \quad [\%]$$

în care: m_z este masa materialului probă din zăcămint;

m_u — masa materialului probă după uscare.

Umiditatea medie \bar{u} se calculează prin media ponderată cu formula:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot m_{zi}}{\sum_{i=1}^n m_{zi}} \quad [\%]$$

în care: u_i este umiditatea probei i ;

m_{zi} — masa probei i din zăcămint;

n — numărul de probe care se iau în considerare.

Probarea pentru stabilirea coeficientului de afinare. Coeficientul de afinare (k_a) se determină pentru dimensionarea mijloacelor de transport, ca urmare a faptului că substanța minerală utilă extrasă are un volum mai mare decît aceeași masă în situ.

Determinarea coeficientului de afinare se face pe un număr de probe globale, probe la care se poate stabili volumul excavației din care s-a recoltat proba (V_{ex}) și volumul probei extrase (V_e), volum ce se poate stabili cu un vas de transport a cărui capacitate este cunoscută. Pentru determinarea coeficientului de afinare se folosește relația:

$$k_a = \frac{V_{ex}}{V_e}$$

Pentru determinarea coeficientului de afinare se pot folosi probele globale recoltate pentru determinarea caracteristicilor chimice.

Pentru determinarea caracteristicilor tehnice ale substanțelor minerale utile cu diferite utilizări în economie (asbest, talc, mică, materiale de construcție etc.), se prelevează probe și se fac determinări în funcție de standardele de stat în vigoare.

2.4. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR TEHNOLOGICE

Cunoașterea posibilității de valorificare optimă a substanțelor minerale utile, în condițiile tehnico-economice existente la o anumită etapă, se impune încă din prima fază a cercetării geologice (prospecțiunea), iar pe măsură ce cercetarea se adîncește crește și ponderea acestei cunoașteri pînă în faza de exploatare.

Indiferent dacă substanța minerală utilă este valorificabilă în condiții avantajoase sau nu în momentul respectiv, pentru conturarea industrială trebuie să se cunoască caracteristicile tehnologice ale acesteia.

Cercetările pentru determinarea caracteristicilor tehnologice trebuie efectuate după fiecare etapă a explorării (explorare preliminară și de detaliu), chiar dacă probele tehnologice din prospecțiune nu sînt destul de reprezentative, dat fiind faptul că s-ar putea să apară schimbări a caracteristicilor mineralizației pe anumite sectoare.

Pentru determinarea posibilității de valorificare a unei substanțe minerale utile se recoltează probe tehnologice, care se deosebesc de probele pentru determinarea

caracteristicilor chimice prin: mod de prelevare, metoda de studiu și modul de utilizare a rezultatelor.

Probarea tehnologică are scopul de a furniza date privind fluxul tehnologic cel mai indicat pentru obținerea unui produs minier cu valorificare optimă și stabilirea unor parametri necesari pentru întocmirea proiectului de exploatare.

În funcție de etapa de cercetare geologică, modul de recoltare, instalația unde se studiază și obiectivele urmărite, probele tehnologice pentru stabilirea posibilităților de preparare se împart în:

a) *Probe pentru faza de laborator*, care au o cantitate cuprinsă între 10–500 kg, se recoltează în prospecțiune și explorarea preliminară, se analizează în laborator și ne dau informații privind:

- caracteristicile calitative medii ale probei;
- caracteristicile mineralizației (asociație de minerale și concreșteri);
- metodele de preparare;
- fluxul tehnologic informativ;
- parametri informativi privind extracția în componenți utili.

b) *Probe pentru faza pilot*, care au o greutate de 10–100 t, se analizează în instalație pilot (2–12 t/zi) în timpul explorării preliminare și de detaliu, obținându-se informații cu privire la:

- caracteristicile calitative medii ale probei;
- caracterizarea mineralizației (asociații mineralogice și concreșteri);
- flux tehnologic de preparare;
- grad de sfărîmare;
- sorturi de concentrate;
- extracția în greutate;
- extracția în componenți utili;
- consumul de reactivi.

c) *Probe pentru faza semiindustrială*, care au o greutate între 500 și 1 500 t, sînt analizate în instalația semiindustrială (20–40 t/zi), numai în faza de explorare de detaliu și ne dau informații cu privire la:

- caracteristicile calitative medii ale probei;
- fluxul tehnologic de preparare optim;
- gradul de sfărîmare;
- sorturile de concentrate;
- calitatea concentratelor;
- extracția în greutate;
- extracția în componenți utili;
- consumurile specifice de energie, materiale și reactivi.

d) *Probe pentru faza industrială (microproducție)*, care au o masă mai mare de 1 500 t, sînt prelucrate în instalație în funcțiune (peste 125 t/zi), se recoltează în fazele de explorare de detaliu și de exploatare, avînd ca scop verificarea și îmbunătățirea fluxului tehnologic de preparare în vederea ameliorării parametrilor de extracție.

Probele tehnologice se recoltează dintr-un număr limitat de puncte de mineralizație, în comparație cu probele geologice pentru determinarea caracteristicilor chimice, care se recoltează sistematic din toată mineralizația.

Uneori pentru probele din faza de laborator și chiar pilot se poate folosi materialul rămas prin reducerea probelor chimice sau din carotele de la foraje.

Prelevarea probelor se face respectînd condițiile în care se află mineralizația (fără diluție), în special pentru faza de laborator și faza pilot, sau în condițiile viitoare

exploatări (admițînd o diluție corespunzătoare tipului de mineralizație și metodele de exploatare preconizate) pentru faza semiindustrială și obligat pentru faza industrială.

Cantitatea de material probă și locul propus trebuie să fie corespunzătoare scopului.

Dacă cantitatea de material este mai mare decît necesarul de material corespunzător fazei de încercări tehnologice, se poate trece la reducerea materialului, după ce ne-am asigurat de reprezentativitatea maximă.

Pentru probele semiindustriale și industriale se transportă întreaga cantitate prelevată din mineralizație.

După prelevare, conform proiectului, se va efectua o probare chimică, atît a locului de prelevare cît și a materialului abatat (extras).

De regulă, probele tehnologice se prelevează din lucrările de explorare care traversează corpul mineralizat, după direcția de variație maximă a conținutului în componenți utili.

Înainte de operația propriu-zisă de prelevare a probei se marchează locul, marcaj care trebuie să rămînă și după ce s-a recoltat proba, iar locul respectiv se curăță și se nivelează cît mai bine posibil.

Dintre metodele utilizate pentru probarea tehnologică menționăm:

- brazde pentru probările chimice;
- metoda brazdelor răzuite;
- brazde obținute prin împușcarea pereților laterali sau a tavanului;
- folosirea întregului material dintr-o lucrare care explorează zăcămintul;
- utilizarea materialului din abataje experimentale sau semiproducție, proiectate pentru verificarea parametrilor de explorare.

La recoltarea probelor tehnologice se are în vedere ca locul de prelevare să fie ferit de infiltrații care, printr-o antrenare de minerale din alt loc decît cel de probare, ar denatura conținutul; de asemenea, se exclud intercalațiile sterile care se pot separa în procesul exploatării.

Pentru depozitarea probei tehnologice se iau o serie de măsuri cum ar fi:

- marcarea locului de depozitare;
- evitarea contaminării probei;
- evitarea posibilităților de alterare a probei printr-o sincronizare între depozitare și transport;
- evitarea depozitării probei (pe cît posibil) în subteran;
- pentru probele pilot, semiindustriale sau industriale se recomandă amenajarea locului înainte de depozitare (de regulă se construiesc platforme).

Transportul probelor la instalația de prelucrare presupune, și el, anumite măsuri cum ar fi:

- probele în cantități mici (faza laborator) nu pun probleme mari de transport, dar cu toate acestea se evită contaminarea;
- probele în cantități mari presupun respectarea cu strictețe a măsurilor prevăzute în proiectul de recoltare a probelor;
- la transportul în subteran se vor evita rostogoalele prin care se scurge apa, iar pentru cele uscate se face o curățire perfectă de materialul rămas de la transporturile anterioare; vagonetele de transport se curăță și ele foarte bine;
- se evită transportul probelor tehnologice pe distanțe mari în mijloace de transport descoperite, în timpul iernilor, anotimpurilor ploioase etc;
- pe distanțe scurte se recomandă a se folosi mai mult transportul auto, pentru a se evita încărcările și descărcările pe calea ferată;
- în cazul transportului auto se curăță foarte bine autocamioanele (platformele), se verifică atanșeitatea, iar în timpul ploilor minereul se acoperă cu prelate;

— transportul containerizat este de preferat deoarece în acest mod se evită pierderile și impurificările;

— orice transport trebuie să fie însoțit de o foaie de transport, care cuprinde: proveniența probei, locul unde a fost încărcată (galerie, rampă, siloz etc.), cantitatea încărcată, iar foaia trebuie semnată de cei care au predat proba și au asistat la încărcarea și de primitorul probei la destinație. Foile de transport se anexează la pașaportul probei (actul de identitate care însoțește orice probă tehnologică) care cuprinde:

- felul probei și faza de cercetare;
- denumirea zăcămintului;
- sortul de substanță minerală utilă;
- locul de prelevare (cît mai detaliat prezentat);
- modul de recoltare;
- cantitatea de material recoltat de la probare;
- modul de reducere a probei (dacă este cazul);
- prezentarea scurtă a zonei și a locului de recoltare (se anexează o schiță geologică a planului de orizont cu locul de prelevare, pe care se trec și probele chimice din documentația cu calculul de rezerve);

- un plan de situație cu probele chimice recoltate ulterior probei tehnologice;
- modul de depozitare și transport;
- precizarea modificărilor la proiectul de recoltare a probelor (dacă este cazul);
- observații deosebite și unele recomandări privind studierea probelor.

Documentul care însoțește proba trebuie semnat de următoarele persoane:

- geologul care a urmărit recoltarea probei tehnologice;
- inginerul care a răspuns de executarea lucrărilor;
- conducătorul șantierului.

Rezultatele probelor tehnologice se utilizează la următoarele documentații:

- studii de condiții industriale;

- proiecte geologice și studii de etapă;
- documentații de evaluare a rezervelor;
- studii tehnico-economice de valorificare.

3. METODICA PROBĂRII ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE EXPLORATE CU LUCRĂRI MINIERE

3.1. PROBAREA ÎN ȘANȚURI ȘI TRANȘEE DE EXPLORARE

Ca regulă generală, la probarea substanței minerale utile în șanțuri și tranșee se are în vedere ca locurile de probare să se aleagă întotdeauna pe pereții șanțului sau tranșeei și numai în cazuri cu totul excepționale (cînd mineralizația apare numai în vatră) se admite alegerea locului de probare și în vatră. Nu se admite amplasarea locu-

lui de prelevare a probelor în vatră deoarece există pericolul de contaminare (care este foarte mare).

Cînd se aplică metoda brazdelor se urmărește ca brazdele să fie orientate (pe cît posibil) după direcția de măsurare a grosimii normale (fig. XII.9, a), iar cînd aceasta nu se încadrează pe unul din pereții șanțului, probele se amplasează orizontal (după grosimea orizontală; fig. XII.9, b).

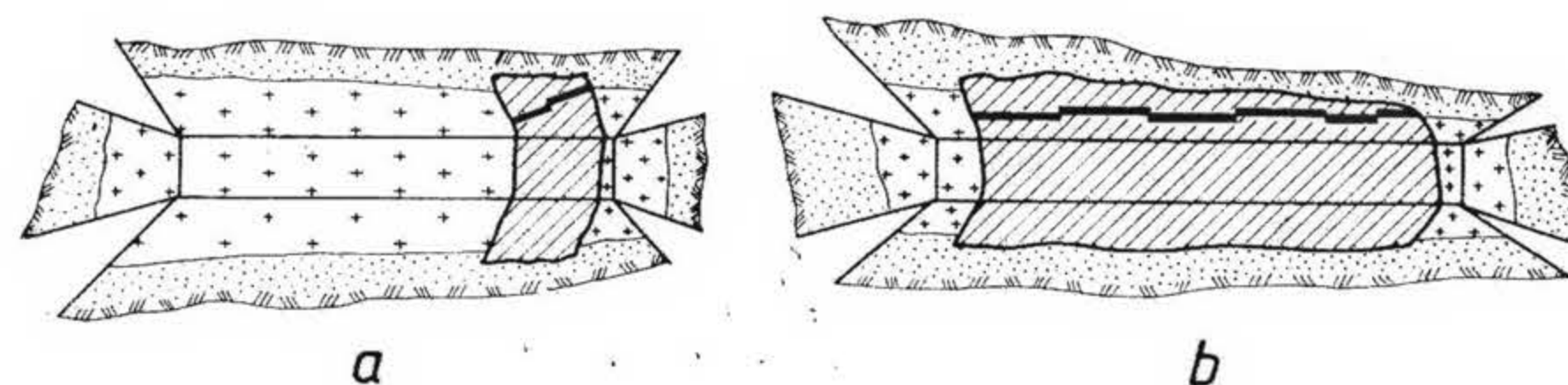


Fig. XII.9. Amplasarea probelor brazdă pe unul din pereții șanțului.

În situațiile în care probele brazdă trebuie să fie amplasate în vatra șanțului sau tranșeei, se iau toate măsurile pentru nu diminua caracterul reprezentativ, iar probele se amplasează după grosimea aparent orizontală, direcția axei mari a brazdelor fiind paralelă cu axa mare a șanțului (fig. XII.10, a). Asemenea situații pot să apară cînd din motive tehnice nu s-a putut săpa șanțul adînc, grosimea depozitelor acoperitoare fiind mai mare de 4 m sau din cauza mijloacelor tehnice de execuție.

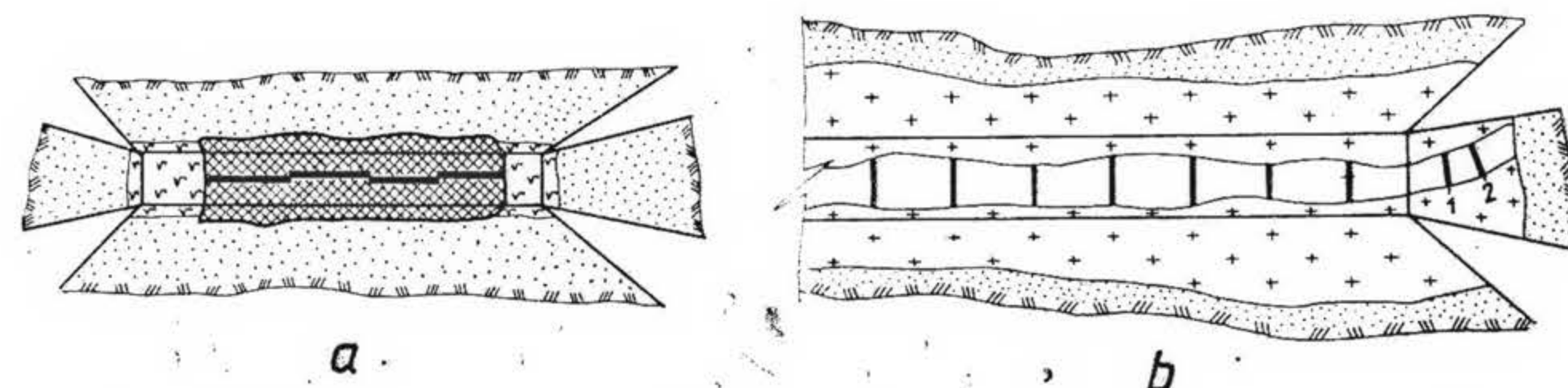


Fig. XII.10. Amplasarea probelor brazdă în vatră și în frontul șanțului.

Pentru situațiile în care șanțul sau tranșeea urmărește corpul de substanțe minerale utile (zăcămintele filoniene de grosime mică), probele brazdă se recoltează tot din vatra șanțului, dar axa mare a probei este perpendiculară pe direcția axei mari a șanțului (fig. XII.10, b). În asemenea situații probele se mai pot preleva și din frontul șanțului sau tranșeei, atît după grosimea orizontală cît și după grosimea normală (fig. XII.11).

În cazul zăcămintelor filoniene cu intercalații sterile, brazdele pot să includă și aceste intercalații (fig. XII.11, a) — cînd grosimea intercalației nu permite evitarea ei în procesul exploatării, sau să nu le includă (fig. XII.11, b) — cînd se pot separa în exploatare. Pentru situația în care intercalația dintre părțile compacte este și ea

mineralizată, se probează separat partea compactă și separat partea de impregnație (fig. XII.11, c).

Amplasarea probelor se poate face pe grosimea normală, pe grosimea orizontală sau pe grosimea aparentă, după cum ne situăm în unul din cazurile menționate mai sus.

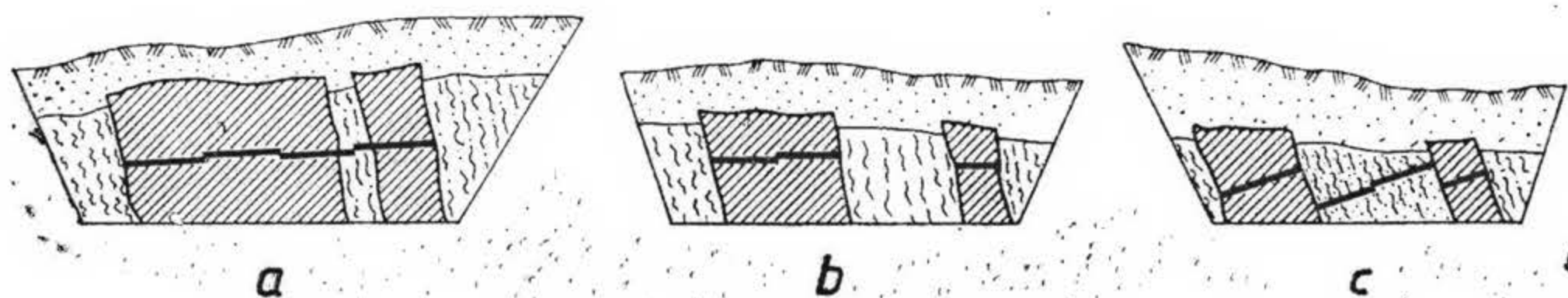


Fig. XII.11. Probarea corpului de substanță minerală utilă în peretele șanțului sau tranșei în cazul prezentei intercalațiilor de rocă sterilă.

În cazul zăcămintelor de tip stockwerk, unde corpul nu are o limită netă cu roca înconjurătoare, probele se iau de regulă cu lungime egală ($l = 1$ m), pentru ca în urma analizelor chimice să se poată stabili limita corpului ca interes economic. În asemenea cazuri probele se prelevează pe toată porțiunea pe care se întinde alterația hidrotermală (fig. XII.12).

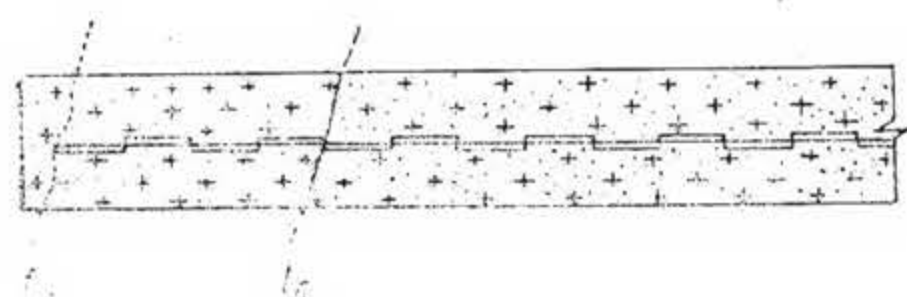


Fig. XII.12. Modul de prelevare a probelor în cazul unui zăcămint fără limite nete cu roca înconjurătoare:

l_g — limită geologică presupusă; l_e — limită de conturare (industrială).

Metoda brazdelor prin răzuire se poate aplica și în cazul șanțurilor, în funcție de forma corpului de substanță minerală utilă, după cum urmează:

— în cazul corpurilor de grosime mare și înclinare mare, mineralizație neomogenă sau foarte neomogenă, brazdele se iau după grosimea orizontală, din peretele șanțului,

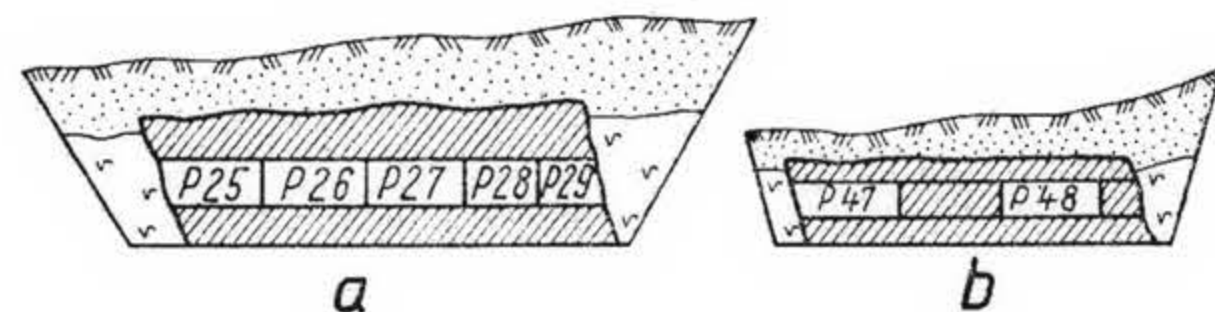


Fig. XII.13. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire în cazul unui zăcămint filonian de grosime mare.

continuu (fig. XII.13, a), avînd lungimea de 1 m, iar spre limitele zăcămintului se respectă regula de la pag. 311 și numai în cazuri cu totul excepționale se prelevează probe din vatra șanțului.

Cînd mineralizația este omogenă se pot preleva brazde discontinue (fig. XII.13, b);

— pentru corpurile de grosime mică (< 1 m), cu înclinare mare, brazdele se prelevează din vatra șanțului, lungimea unei brazde fiind de 1 m, iar lățimea va fi egală cu grosimea filonului. Dacă mineralizația este foarte neuniformă, probele se iau în mod continuu (fig. XII.14, a), iar dacă este neuniformă probele brazde se pot recolta și discontinuu (fig. XII.14, b);

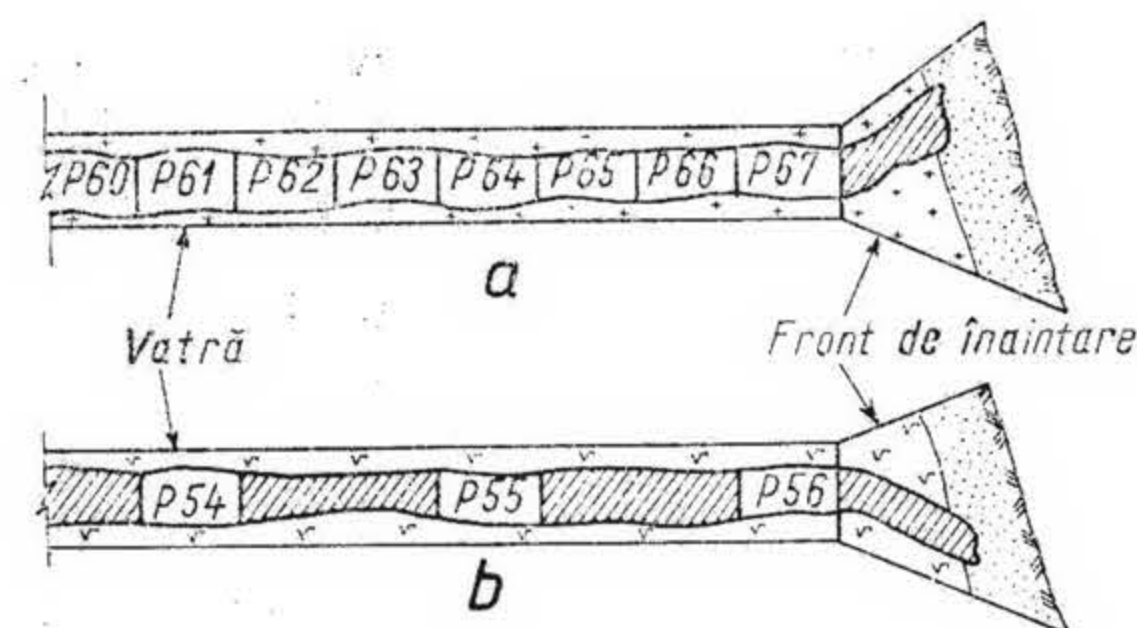


Fig. XII.14. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire în cazul unui zăcămint filonian de grosime mică.

— pentru corpurile de mineralizații de tip stockwerk se aplică aceeași metodologie ca în cazul corpurilor de grosime mare, cu mențiunea că în zona limitei brazdele se iau continuu, pentru a se preciza limita industrială, deși este mai indicat ca limita industrială să se stabilească cu brazde obișnuite

În cazul metodei punctelor, probele parțiale se amplasează pe unul din pereții șanțului sau tranșei, sau chiar pe vatră. Metoda punctelor este recomandată a se aplica în cazul în care sîrtem nevoiți să probăm substanța minerală utilă în vatră, deoarece prin acest mod de probare pericolul de cootaminare a probelor este mai scăzut.

3.2. PROBAREA ÎN PUȚURI DE MÎNĂ, PUȚURI DE EXPLORARE, SUITORI ȘI COBORÎTORI

Probarea în puțuri de mină și puțuri de explorare. În cazul folosirii puțurilor în explorarea corpurilor de substanțe minerale utile, probele se recoltează, de regulă, din pereții puțului (de pe un singur perete sau de pe doi pereți opuși, în funcție de gradul de variație a componentelor utili).

Metoda brazdelor este o metodă des folosită în cazul puțurilor, brazdele urmînd a se preleva după grosimea normală sau grosimea verticală (fig. XII.15).

În cazul în care apar intercalații sterile între partea compactă, acestea pot fi incluse în sistemul de probare (fig. XII.16, a), evitate (cînd se pot separa în procesul

explorării fig. XII.16, b) sau se vor proba separat (în cazul în care și aceste roci conțin componente utile, fig. XII.16, c).

Pentru corpurile de dimensiuni mari puțurile se probează pe unul din pereți, iar probele au lungime de 1 m. În situația în care nu se sesizează o limită netă între zona mineralizată și roca înconjurătoare, probele trebuie să aibă obligatoriu lungime de 1 m, pentru ca separarea dintre cele două zone să se facă pe baza analizelor chimice.

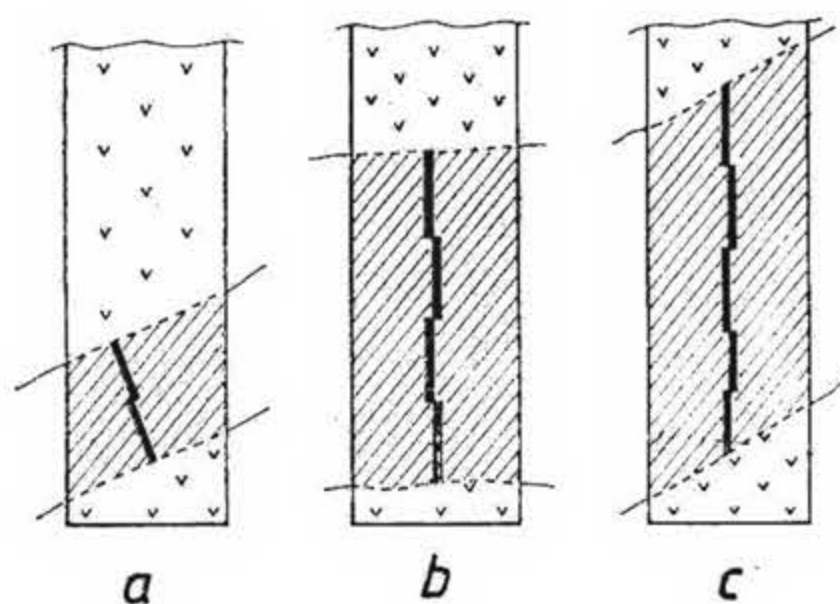


Fig. XII.15. Amplasarea brazdelor pe peretele puțului în cazul explorării unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară (filon, strat etc.):

a — brazde amplasate după grosimea normală în cazul unui corp înclinat de grosime mică;
b — brazde amplasate după grosimea normală, în cazul unui corp orizontal de grosime mare;
c — brazde amplasate după grosimea aparentă verticală, în cazul unui corp înclinat de grosime mare.

În caz cu totul excepțional (deoarece asemenea corpuri nu se explorează cu puțuri) brazdele se pot amplasa orizontal, când este vorba de explorarea corpurilor de formă tabulară, grosime mică (< 2 m) înclinare mare sau verticale.

Pentru corpurile care conțin mineralizație uniformă și foarte neuniformă, din puțuri se pot recolta probe *brazde punctiforme*.

Metoda brazdelor prin răzuire se poate aplica și în cazul puțurilor, iar în funcție de gradul de neuniformitate a mineralizației, acestea se pot recolta în mod continuu sau discontinuu (fig. XII.17). Procedul de probare are mare aplicabilitate în cazul zăcămintelor reziduale.

Și în cazul puțurilor se poate aplica cu succes *metoda punctelor*, probele elementare putând fi amplasate după grosimea normală (fig. XII. 18, a) sau după grosimea aparentă verticală (fig. XII.18, b), după cum grosimea normală se încadrează sau nu în peretele puțului.

Probarea în suitori și coboritori. Când la explorarea corpurilor de substanțe minerale utile se utilizează suitori și coboritori, acestea se probează pe unul din pereți sau pe doi pereți opuși, după cum mineralizația are un grad mare sau mai mic de omogenitate.

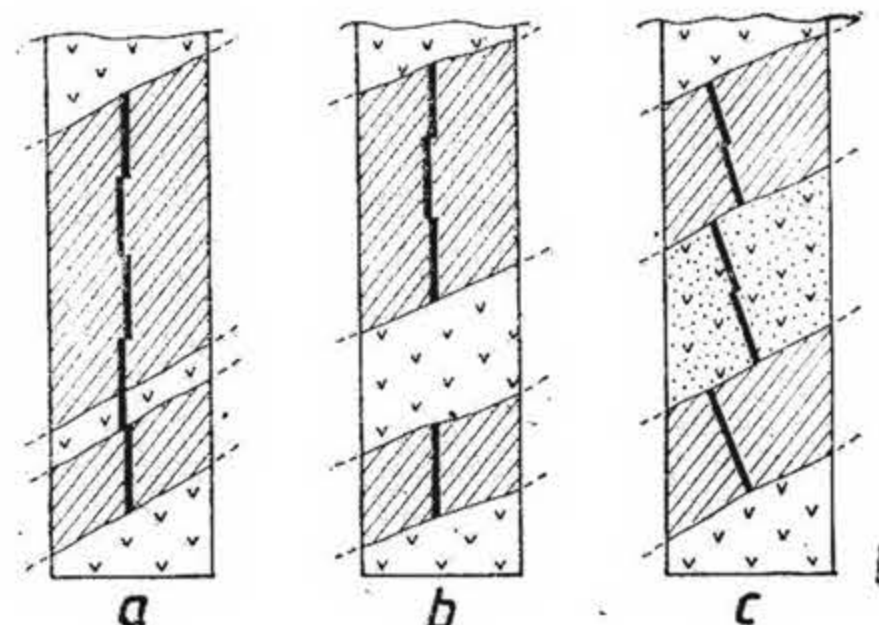


Fig. XII.16. Probarea corpurilor de substanță minerală utilă cu intercalații de steril în puțuri.

Având în vedere că nu există diferențe între probarea unei suitori și a unei coboritori, se va trata numai probarea în cazul suitorilor, aceasta făcându-se cel mai frecvent prin cele trei metode: brazde, brazde prin răzuire și metoda punctelor.

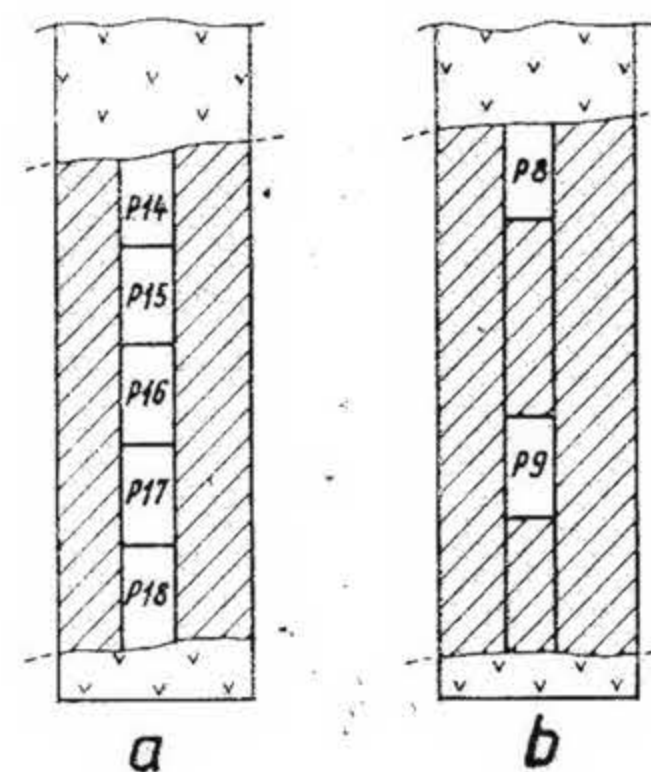


Fig. XII.17. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire pe peretele puțului:

a — mineralizație foarte neuniformă;
b — mineralizație neuniformă.

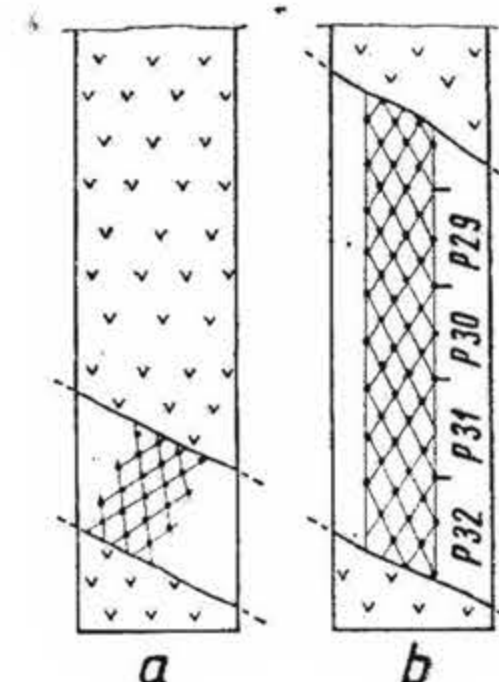


Fig. XII.18. Amplasarea probelor parțiale pe perețele puțului, în cazul aplicării metodei punctelor.

Metoda brazdelor se aplică în cazul corpurilor tabulare de grosime mică (< 2 m) și înclinare medie sau mare.

La asemenea tipuri de zăcămintele brazdele se iau după grosimea normală, pentru corpurile cu înclinare medie (fig. XII.19, b) și după grosimea orizontală la corpurile cu înclinare mare sau verticale (fig. XII.19, a).

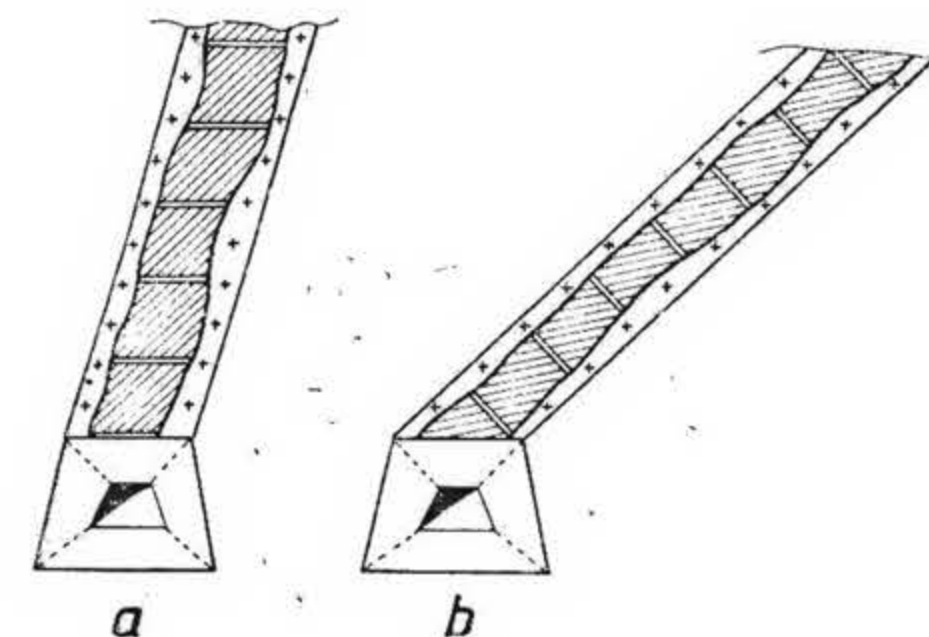


Fig. XII.19. Amplasarea probelor brazdă pe perețele unei suitori, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară, grosime mică și înclinare mare sau medie.

În cazul corpurilor tabulare de grosime mare (> 2 m) sau în cazul în care suitorile fac legătura între orizonturi, la zăcămintele în formă de stok sau stockwerk (suitorile care explorează mineralizația) probele se amplasează după înclinarea suitorii (fig. XII.20).

Metoda brazdelor prin răzuire se aplică și în cazul explorării cu suitori a corpurilor de formă tabulară, de grosime medie și mare. Și în acest caz pot să apară două situații, astfel: dacă mineralizația este foarte neuniformă brazdele prin răzuire se iau în mod continuu (fig. XII.21, a), iar dacă mineralizația este neuniformă brazdele prin răzuire se pot preleva discontinuu (fig. XII.21, b).

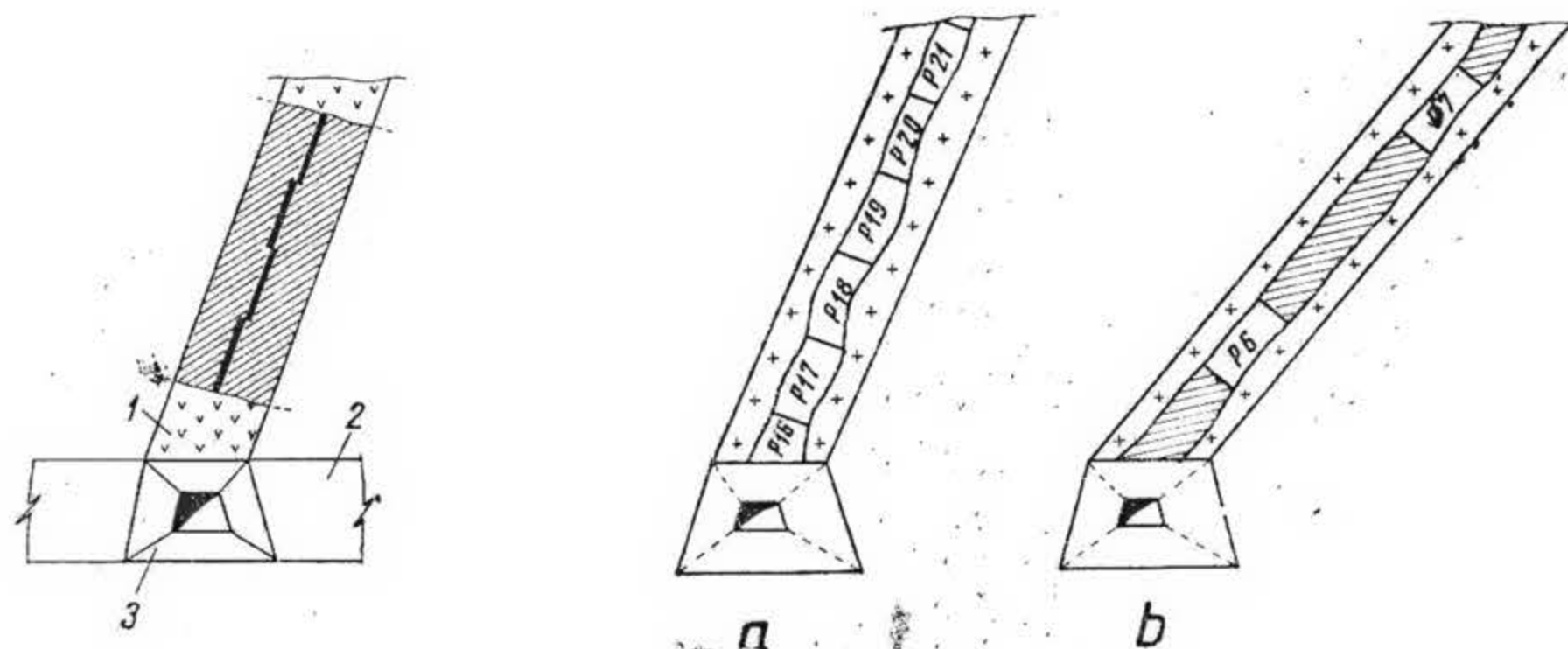


Fig. XII.20. Modul de Amplasarea probelor în peretele suitorii care explorează un zăcămint de grosime mare:

1 — suitoare; 2 — peretele galeriei transversale; 3 — galerie direcțională.

Fig. XII.21. Modul de prelevare a probelor brazdă prin răzuire în peretele suitorii.

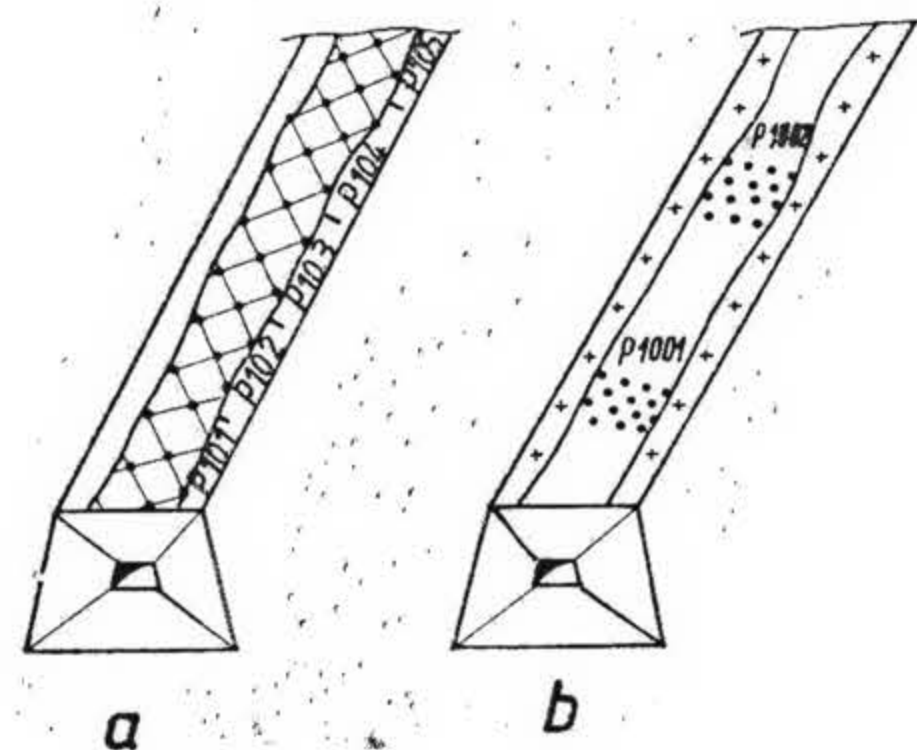


Fig. XII.22. Amplasarea probelor în peretele suitorii, în cazul metodei punctelor:

a — probare continuă; b — probare discontinuă

Metoda punctelor se aplică și în cazul suitorilor și coborîtorilor, cu mențiunea că probele elementare se pot recolta continuu sau discontinuu, în funcție de particularitățile mineralizației (fig. XII.22).

3.3. PROBAREA ÎN GALERII ȘI PLANE ÎNCLINATE

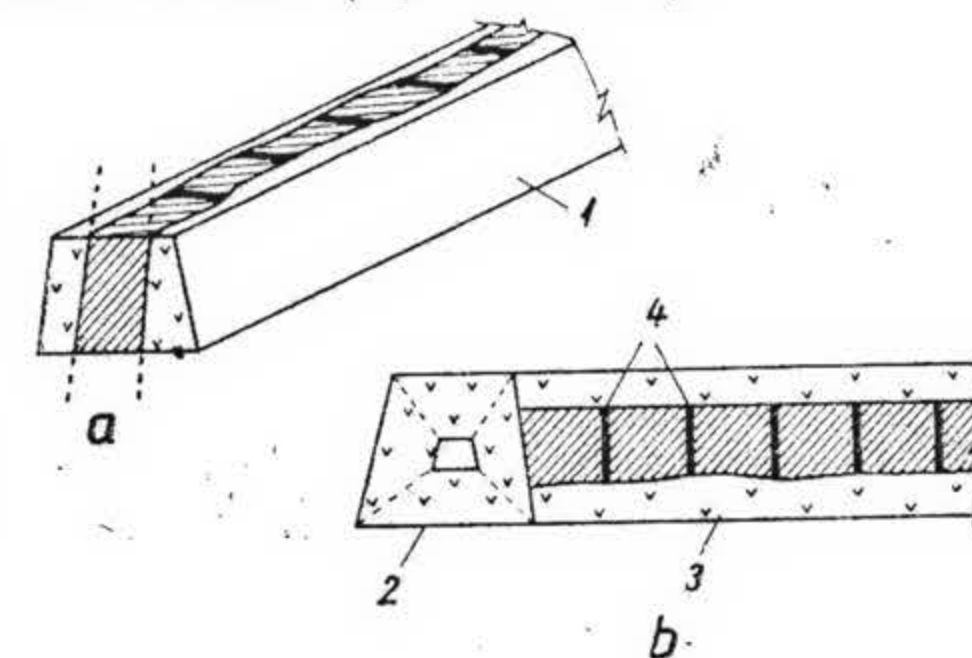
Probarea substanței minerale utile în *plane înclinate* este asemănătoare cu probarea în *galerii*, fapt pentru care vor fi tratate cele mai frecvente metode utilizate pentru galeriile de explorare.

Metoda brazdelor se aplică în funcție de tipul de galerie (direcțională sau transversală) și de poziția spațială a corpului de substanță minerală utilă cunoscut din prospecțiune.

În cazul zăcămintelor de grosime mică probele brazdă se amplasează în funcție de înclinarea corpului, astfel: la corpurile cu înclinare mare și medie probele se prelevează din tavanul galeriei direcționale, după grosimea orizontală, brazdele fiind distanțate la 1 m una de alta (fig. XII.23, a); la corpurile de grosime mică și înclinare mică sau orizontale, explorate cu galerii direcționale și plane înclinate, probele se prelevează de pe peretele galeriei, după grosimea verticală (fig. XII.23, b).

Fig. XII.23. Amplasarea probelor brazdă în cazul explorării prin galerii sau plane înclinate a unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime mică (<2m):

a — corp cu înclinare mare; b — corp cu înclinare mică sau orizontală; 1 — galerie direcțională; 2 — galerie transversală; 3 — peretele galeriei direcționale; 4 — probe brazdă.



Tot în cazul corpurilor de grosime mică, brazdele se pot amplasa și în frontul de înaintare a galeriei sau a planului înclinat (fig. XII.24), avînd în vedere prelevarea mai ușoară a probei, dar trebuie subliniate două mari dezavantaje ale acestui mod de probare, cum ar fi: includerea probării în ciclograma de înaintare a lucrării respective, deci creșterea timpului de înaintare și imposibilitatea repetării probării.

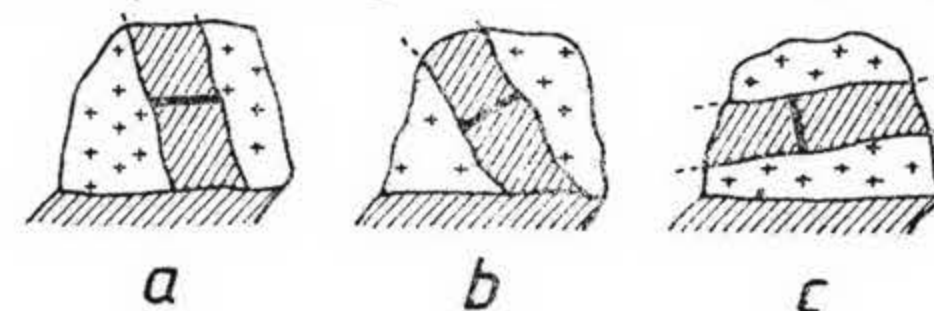


Fig. XII.24. Amplasarea brazdelor în frontul galeriei sau a planului înclinat:

a — corp cu înclinare mare; b — corp cu înclinare medie; c — corp cu înclinare mică.

Fig. XII.25. Probarea în frontul galeriei sau a planului înclinat, în cazul unui zăcămint cu variații mari de grosime și a mineralizației.



Dacă se observă variații mari ale mineralizației atât pe verticală cît și pe orizontală, atunci din frontul galeriei se pot preleva două sau mai multe probe, urmînd ca în final să se facă media conținuturilor (fig. XII.25).

În cazul corpurilor de grosime mare și înclinare medie sau mare, explorate cu nișe, probele se iau orizontal pe unul sau doi pereți (fig. XII.26, a), iar în cazul în care apar intercalații sterile se aplică aceleași principii ca la șanțuri, puțuri de mină, suitori și coboritori, adică intercalația sterilă se probează (fig. XII.26, b), se exclude (fig. XII.26, c) sau se probează separat, când și aceasta conține minerale utile (fig. XII.26, d).

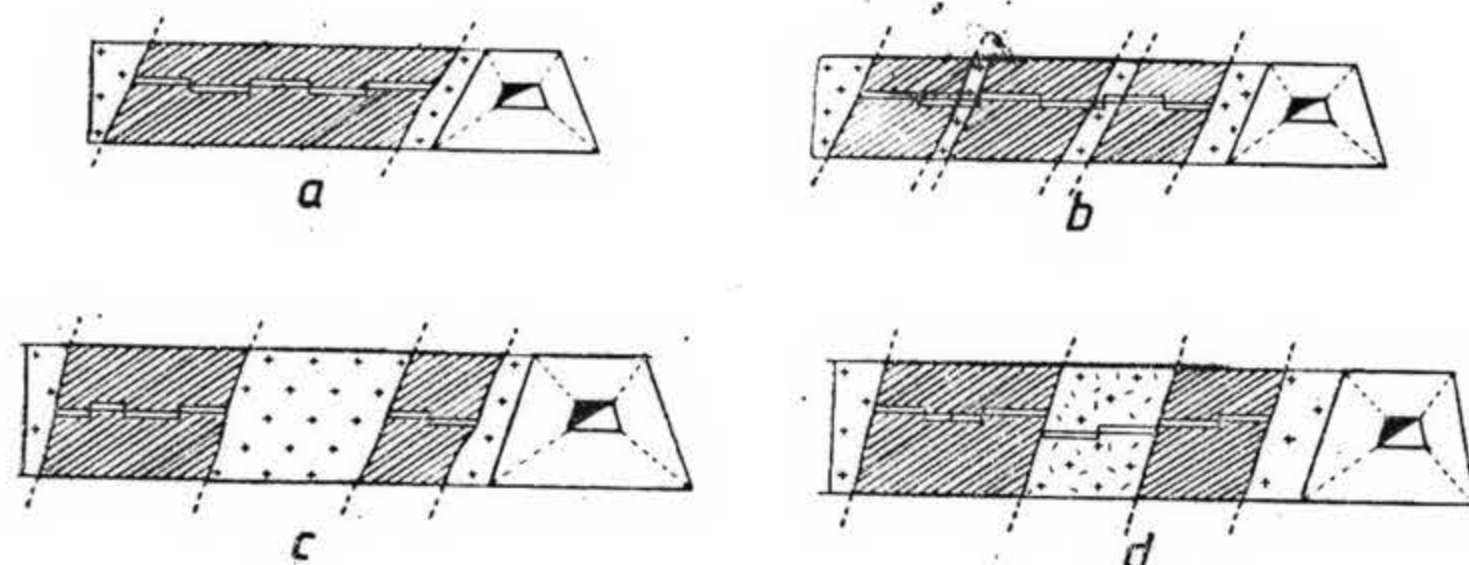


Fig. XII.26. Probarea prin brazde în peretele unei nișe sau galerii transversale, în cazul corpurilor de substanțe minerale utile de grosime mare și înclinare mare sau medie.

Există și situații când o galerie de acces traversează corpul de substanță minerală utilă (zăcămint tabular cu înclinare mică și tectonizat), deși corpul se explorează cu lucrări verticale. În acest caz probarea în porțiunea respectivă trebuie făcută astfel încât probele să fie comparabile cu cele din lucrările verticale (foraje) (fig. XII.27). Acest mod de probare apare cu totul întâmplător.

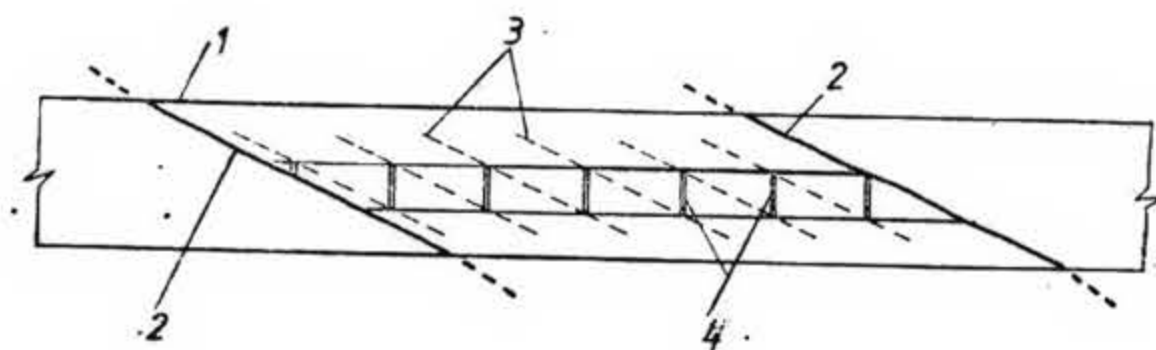


Fig. XII.27. Probarea unui corp de substanță minerală utilă cu înclinare mică într-o galerie de acces:

1—peretele galeriei; 2—limita geologică a corpului de substanță minerală utilă; 3—linii paralele la limitele corpului; 4—probe brazdă.

Metodologia acestei probări constă în a marca pe peretele galeriei transversale două linii paralele orizontale, distanțate la 1 m una de cealaltă, linii ce delimitează intervalul de amplasare a probelor; acest interval se alege la o înălțime convenabilă de lucru, după care se pornește probarea de la limita zăcămintului, prin marcarea unei probe verticale,

iar de la capătul de jos al brazdei se duce o paralelă la limita geologică a corpului care intersectează linia ce delimitează intervalul de probare, loc de unde se marchează a doua probă și așa mai departe. Și în acest caz se poate face o separare în probarea intercalațiilor sterile.

Pentru corpurile de dimensiuni mari în toate direcțiile (stockwerk, metasomatice de contact etc.) probele se amplasează pe unul din pereții galeriei, iar în porțiunile unde se intersectează două galerii probele se amplasează pe tavanul galeriei (fig. XII.28). La aceste tipuri de mineralizații se disting două aspecte de care trebuie ținut seama: 1) dacă corpul are limită netă cu roca înconjurătoare (nemineralizată) probele se amplasează până la limită (fig. XII.28, a); 2) dacă corpul nu are limită netă între partea mineralizată și cea nemineralizată, se probează până când macroscopic roca nu mai este interesantă (fig. XII.28, b).

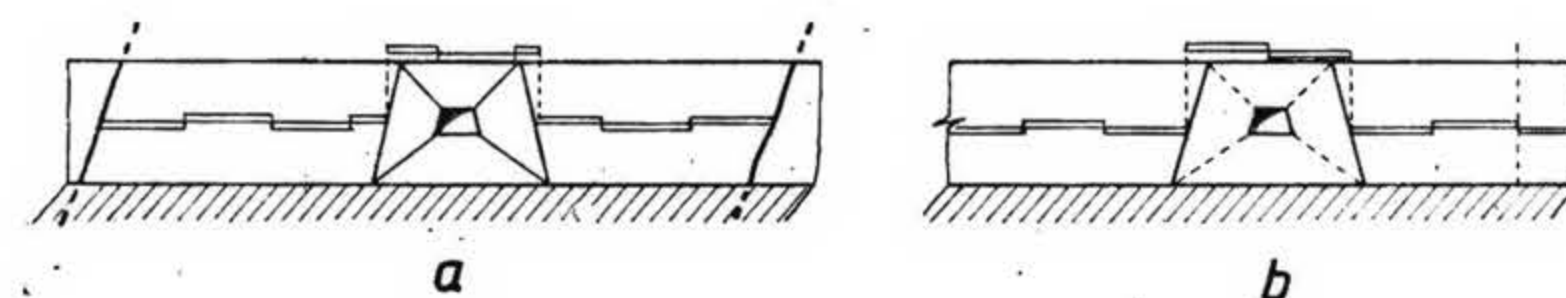


Fig. XII.28. Amplasarea brazdelor de probare în cazul unui corp de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

Metoda de probare prin brazde răzuite se aplică și în cazul explorării corpurilor de substanțe minerale utile cu galerii și plane înclinate, după cum urmează:

— la zăcămint de grosime mică (< 2 m) probele se pot recolta din tavan — atât în mod continuu cât și discontinuu (fig. XII.29, a și b) — din frontul galeriei sau planului înclinat (fig. XII.29, c și d);

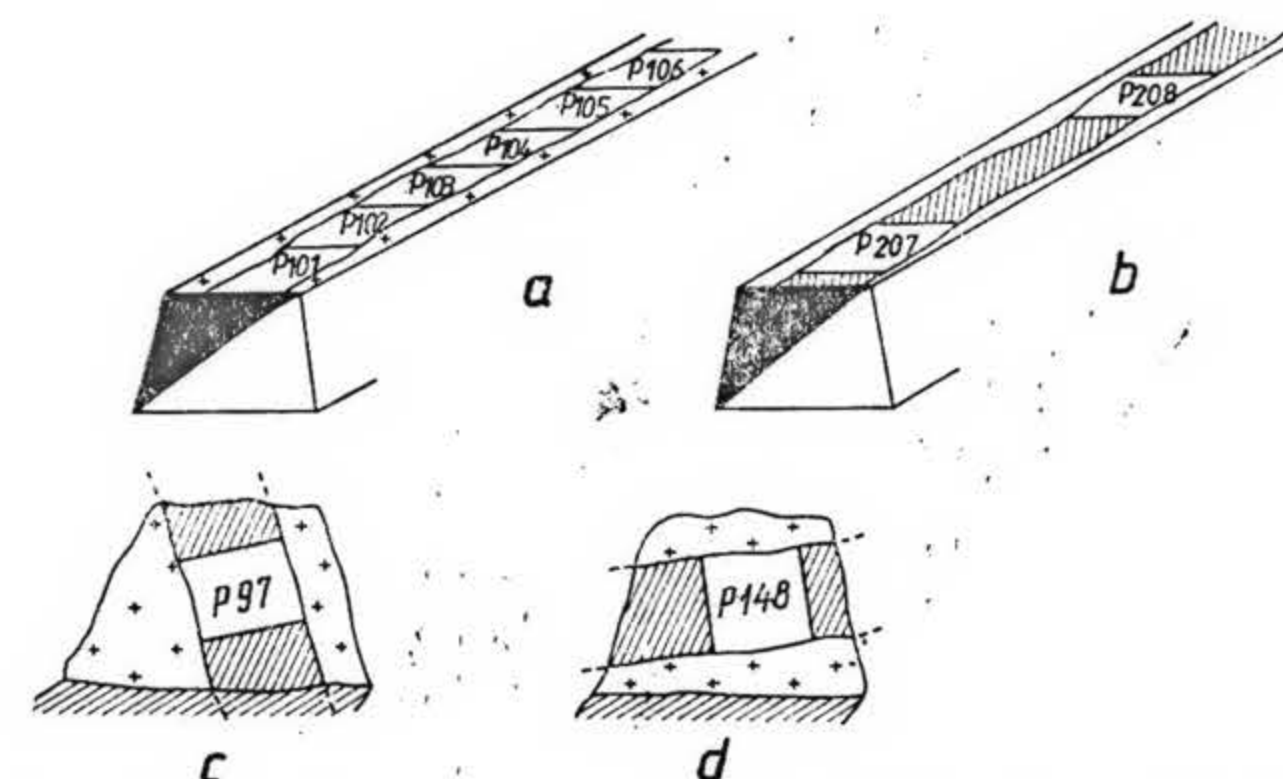


Fig. XII.29. Probarea prin brazde răzuite, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară, explorate cu galerii sau plane înclinate.

— la corpurile de dimensiuni mari (tabulare, stockwerk, lentiliforme etc.), probarea se face pe pereți; dacă mineralizația este foarte neuniformă se probează continuu

(fig. XII.30, *a*), iar în cazul unei mineralizații neuniforme probare se face discontinuu (fig. XII.30 *b*).

Avînd în vedere avantajele probării prin brazde răzuite față de cea prin brazde propriu-zise, se recomandă folosirea ei de cîte ori este nevoie și mai ales cînd nu poate fi înlocuită cu o altă metodă mai avantajoasă din punct de vedere al costului dar întotdeauna decizia să fie luată în urma unor încercări experimentale.

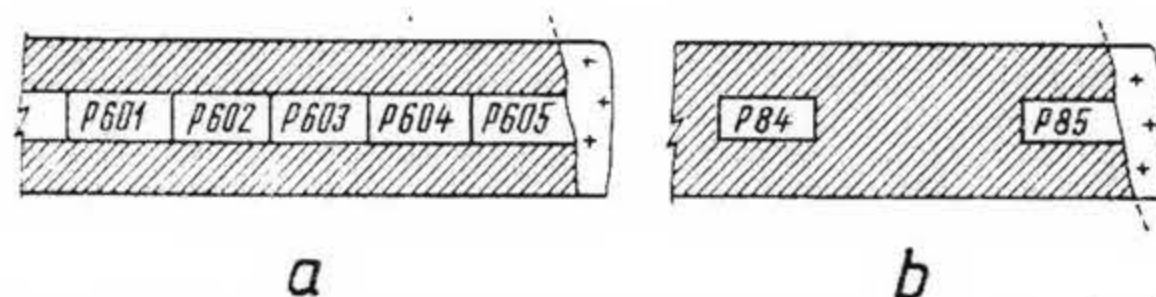


Fig. XII.30. Probarea prin brazde răzuite, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

Probarea prin puncte este o metodă care se aplică la toate tipurile de zăcăminte de minerale utile, în funcție de forma corpului și de gradul de uniformitate a substanței minerale utile.

Pentru corpurile tabulare de grosime mică probarea se poate face din frontul galeriei, (fig. XII.31) sau din tavanul acesteia (fig. XII.32). Se alege prima sau a doua situație în funcție de modul în care probarea poate sau nu să fie inclusă în ciclograma de săpare. Aceasta nu poate fi inclusă întotdeauna în ciclograma de săpare din două motive: 1) reduce viteza de înaintare; 2) nu se poate repeta probarea în același loc.

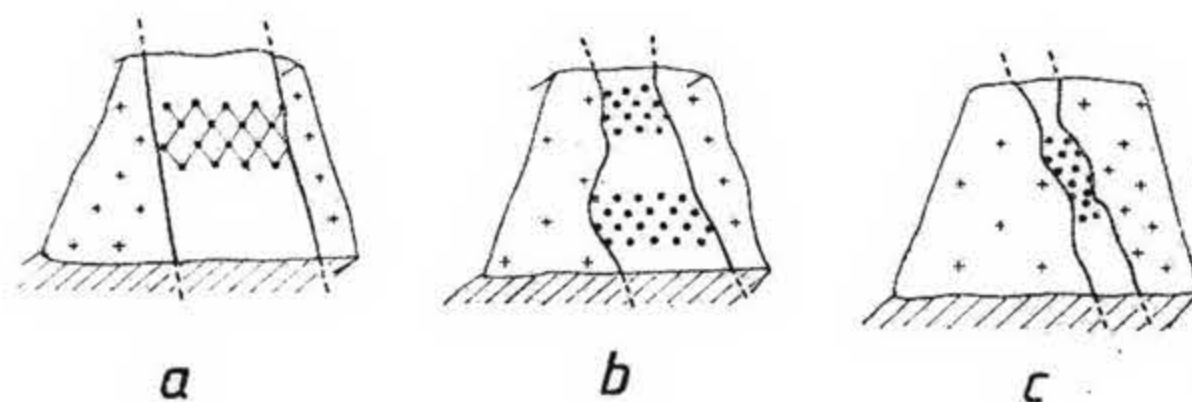


Fig. XII.31. Probarea corpului de substanță minerală utilă prin metoda punctelor, în frontul unei galerii direcționale:

a — corp de grosime medie fără variații de grosime; *b* — corp cu variații de grosime; *c* — corp de grosime mică.

În cazul în care probarea se face din tavanul galeriei, aceasta poate avea un aspect continuu (fig. XII.32 *a*) — cînd avem variații mari ale mineralizației pe direcția corpului, sau la intervale discontinuu, mari — cînd nu se sesizează variații mari ale mineralizației pe direcției de înaintare a galeriei (fig. XII.32, *b*).

Probarea din pereții galeriilor sau a planelor înclinate poate îmbrăca o serie de aspecte, la fel ca și în cazul probării prin brazde, astfel: în cazul corpurilor tabulare de

grosime mare și înclinare mare (fig. XII.33) probarea se face pe unul din pereții galeriei respectîndu-se rețeaua de probare și, mai precis, probarea continuă (fig. XII.33, *a*): cînd avem de-a face cu intercalații sterile sau intercalații cu alt tip de mineralizație se aplică aceeași tehnică de probare ca în cazul probării prin brazde (fig. XII.33, *a, b, c*), iar cînd intercalația sterilă nu poate fi separată în procesul exploatării trebuie avut grijă ca proporția de brazde parțiale să fie în funcție de grosimea corpului de mineralizație.

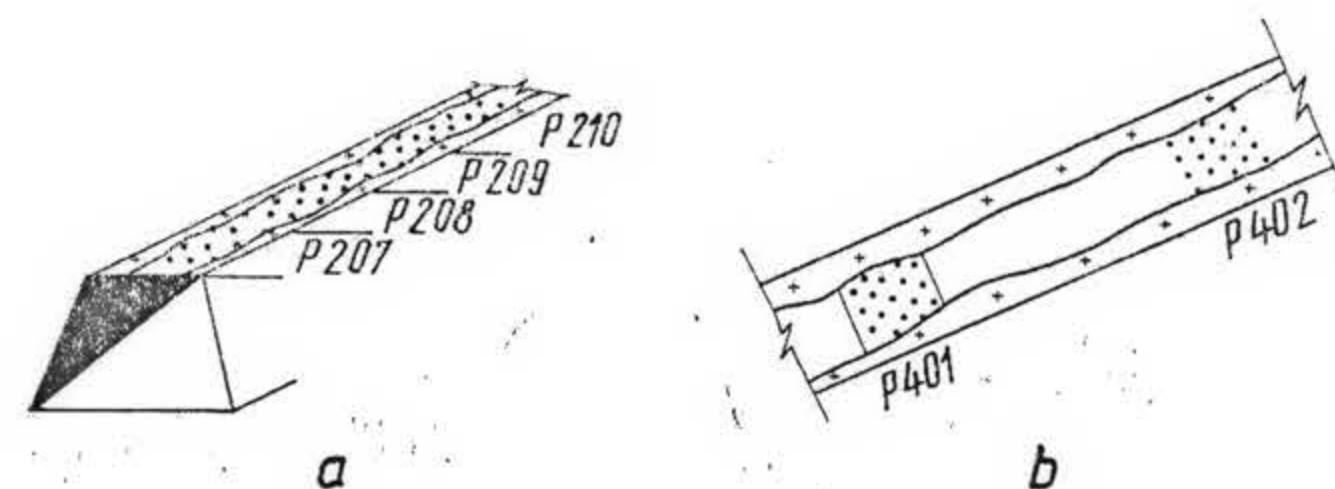


Fig. XII.32. Amplasarea probelor parțiale în tavanul galeriei, în cazul explorării corpurilor de substanță minerală utilă de grosime mică.

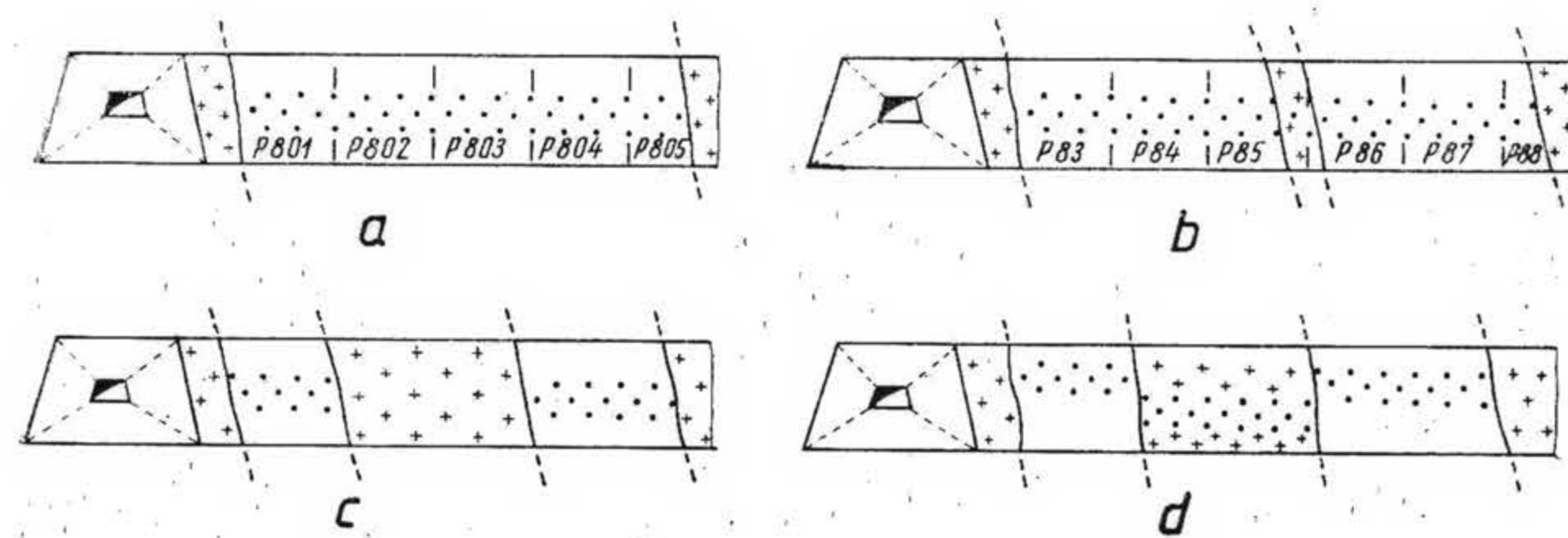


Fig. XII.33. Amplasarea probelor punctiforme în galeriile de explorare a corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime mare:

a — mineralizație compactă; *b* — mineralizație cu intercalație sterilă inseparabilă în procesul exploatării; *c* — mineralizație cu intercalație sterilă sperabilă în procesul exploatării; *d* — două dipuri de mineralizație care pot fi exploatate separat.

În cazul corpurilor mineralizate de dimensiuni mari în toate direcțiile (stockwerk, lentile etc.), probele parțiale se prelevează din pereții galeriilor ce explorează corpul, probarea îmbrăcînd două aspecte: 1) dacă mineralizația are o oarecare variație în planul de orizont, se probează în mod continuu (fig. XII.34, *a*); 2) cînd mineralizația este foarte uniformă probele se pot preleva în mod discontinuu (fig. XII.34, *b*); înainte de a aplica o variantă sau alta trebuie verificată variația mineralizației, iar dacă nu sîntem siguri de acest lucru ne limităm la prima variantă.

În cazul corpurilor de formă tabulară cu grosime mică și înclinare mică sau orizontale explorate cu plane înclinate și galerii direcționale, probele parțiale se pot preleva din frontul galeriei sau planului înclinat (fig. XII.35, a) sau din unul din pereții lucrării

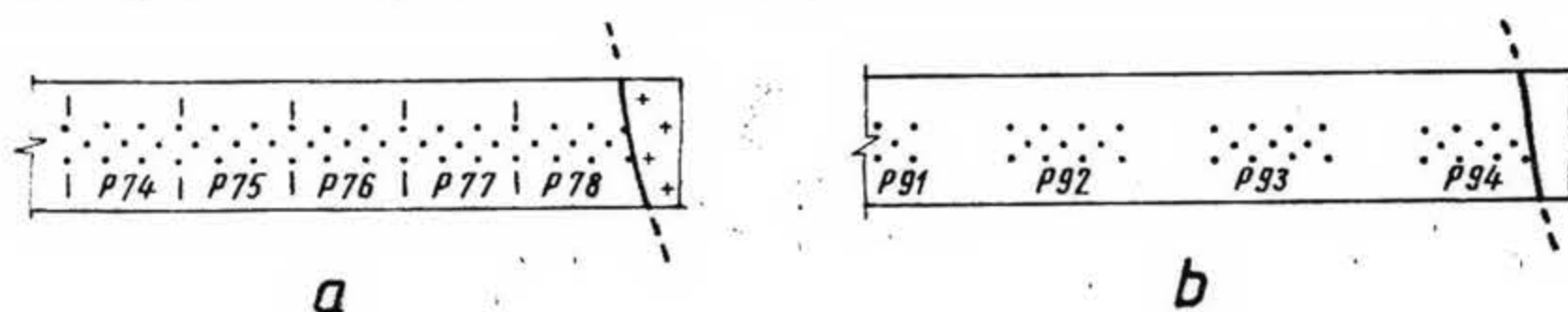


Fig. XII.34. Amplasarea probelor punctiforme în pereții galeriei, cazul corpurilor de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

miniere (fig. XII.35, b). Se recomandă prelevarea din pereți, deoarece acest mod de probare nu influențează negativ viteza de înaintare a lucrării respective și este mult mai comodă pentru persoana care execută operația de probare.

Probele parțiale, în cazul metodei punctelor, se pot recolta fie sub formă de eșantioane de dimensiuni reduse și masă cuprinsă între 10 și 50 g, fie din găuri de mină (se mai numește și metoda găurilor de mină).

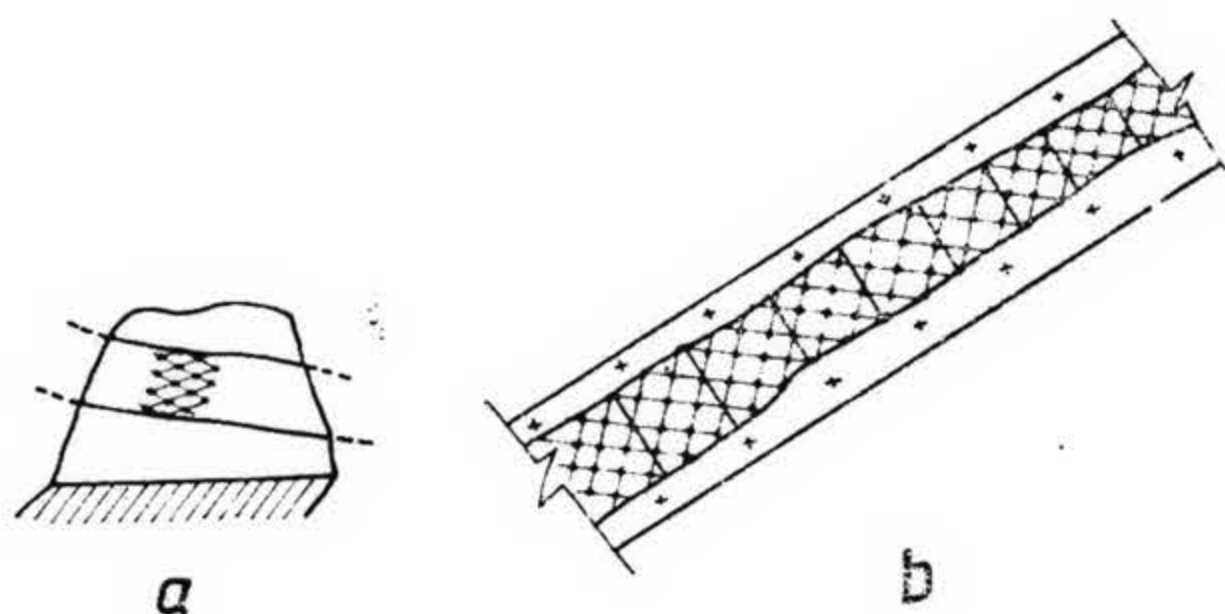


Fig. XII.35. Amplasarea probelor parțiale în galerie sau plan înclinat, în cazul explorării unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară cu înclinare mică sau orizontal și grosime mică.

În cazul în care materialul probei parțiale provine din găuri de mină, acesta se prezintă fie sub formă umedă, fie sub formă uscată. Trebuie acordată o foarte mare atenție modului de colectare a acestui material (se vor evita pierderile), deoarece se influențează foarte mult reprezentativitatea probării. Dispozitivele de probare sînt tratate pe larg în „Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile” de D. Sandu et al.

Probarea prin puncte este comparabilă cu probarea prin metoda brazdelor propriu-zise sau a celor răzuite, din punct de vedere al reprezentativității probării pentru un

număr destul de mare de corpuri de substanțe minerale utile. Acest mod de probare are operativitate foarte mare, în comparație cu metoda brazdelor, la același grad de reprezentativitate.

4. METODICA PROBĂRII ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE EXPLORATE CU FORAJE

Ca urmare a utilizării pe scară tot mai mare a forajelor în explorarea geologică, utilizare care se impune datorită eficienței economice tot mai mari (prin reducerea timpului de obținere a informațiilor și a costului mai scăzut în comparație cu lucrările miniere), trebuie acordată o mare atenție probării substanței minerale utile în acest tip de lucrări.

Pentru îndeplinirea condițiilor unei probări cât mai corecte se atrage atenția asupra responsabilității care revine persoanelor implicate atât în recoltarea materialului de probă, cât și asupra probării acestuia, ca urmare a inconvenientelor care le are explorarea cu foraje, inconveniente cum ar fi:

- densitatea punctelor de explorare este limitată, totodată și a punctelor de probare, din cauza condițiilor de teren (geomorfologice și tehnico-economice);
- repetabilitatea probării nu se poate face decât în cazul executării unei noi lucrări;
- se pot introduce erori mari ca urmare a adaosurilor și a pierderilor de substanță minerală utilă;
- în cazul corpurilor tabulare cu grosimi mici și la un recuperaj mic, probarea pe tipuri de mineralizație nu mai este posibilă;
- când mineralizațiile au variații mari și foarte mari a componentilor utili, nu se poate obține o precizie foarte mare, indiferent de numărul de foraje;
- traversarea corpurilor de formă tabulară nu este posibilă întotdeauna după grosimea normală;
- la mineralizații cu durtate mică, recuperajul, de regulă, este scăzut, lucru ce conduce la influențarea negativă a reprezentativității;
- întocmirea documentațiilor geologice se face în cea mai mare parte pe baza materialului extras din gaura de sondă etc.

Proba, în cazul explorării cu foraje, poate fi prelevată numai din carotă, carotă + detritus ori numai din detritus.

Materialul obținut în urma probării se poate folosi pentru determinări mineralogice, petrografice, chimice și chiar tehnologice în faza de laborator.

În continuare, se tratează problema metodicii probării în funcție de modul de obținere a materialului care face obiectul probării.

4.1. PROBAREA ÎN CAZUL EXPLORĂRII CU FORAJE CU CAROTAJ MECANIC

Carotajul mecanic este mult folosit în cazul explorării substanțelor minerale utile, iar materialul obținut în vederea probării se prezintă sub formă de carote și detritus, urmînd ca o probă să fie constituită din întreg tronsonul de carotă (foraje cu diametru mic — executate din subteran) sau numai a unei părți din carotă (cazul forajelor cu diametru mare executate de la suprafață).

Probarea ca operație în sine, în cazul carotajului mecanic, impune o serie de etape cum ar fi:

- extragerea materialului de probat;
- spălarea materialului;
- verificarea recuperajului;
- extragerea materialului probă;
- ambalarea și etichetarea probei.

Extragerea materialului de probat este o operație foarte importantă, deoarece de modul cum este extras acesta depinde, în bună parte, reprezentativitatea probării în sine.

Operația de extragere a materialului de probat constă în dislocarea din talpa forajului a materialului prin care a traversat forajul, material care adus la suprafață poate să se prezinte sub trei aspecte, în funcție de caracteristicile rocilor traversate, și anume: carotă, carotă + detritus sau numai sub formă de detritus. Prima situație este cea mai avantajoasă, iar pe măsură ce ne situăm în următoarele forme (carotă + detritus, sau detritus), situația este din ce în ce mai dezavantajoasă. Forma sub care apare materialul de probat impune verificarea de fiecare dată a recuperajului.

Avînd în vedere forma de prezentare a materialului de probat la gura găurii de sondă, în continuare se prezintă cîteva aspecte privind obținerea carotelor și a detritusului.

Obținerea carotelor se face prin folosirea unor dispozitive care se montează la partea inferioară a garniturii de foraj numite *carotiere*. Carotierele sînt de două tipuri: *normale* și *speciale*. În categoria carotierelor normale intră carotierele *simple* și *duble*, iar în categoria carotierelor speciale intră carotierele *pentru extras carote orientate*, carotierele *cu tub interior ireductibil* și *extractibil prin prăjini*, carotiere *de luat probe din pereții găurii de sondă* etc. Carotele se obțin în cazul forajului mecanic rotativ și sau formă cilindrică cu dimensiunile în funcție de dimensiunile carotierei și a durității formațiunilor geologice pe care le străbate aceasta.

În cazul explorării unui corp de substanțe minerale utile, se recoltează carote și din formațiunile pe care le traversează forajul pînă la mineralizație, obținîndu-se în acest mod o serie de informații cu privire la structura geologică. Cînd se carotează substanța minerală utilă a corpului, se iau cîteva măsuri în funcție de situația concretă, cum ar fi:

- în apropierea corpului se fac observații atente asupra fluidului de foraj și a carotelor din roca înconjurătoare;
- se oprește temporar forarea pentru pregătirea carotării, pregătire care cuprinde:
 - notarea adîncimii de interceptare a corpului;
 - spălarea tălpii forajului (în roci dure);
 - consolidarea găurii de sondă în cazul rocilor slab consolidate;
- în cazul corpurilor de formă tabulară de grosime mică se carotează și rocile înconjurătoare, pentru a se putea delimita cît mai bine corpul de substanță minerală utilă;

— pentru corpurile de formă tabulară de grosime medie sau mare pot apare două situații: 1) cînd mineralizația prezintă zonalități, se carotează separat; 2) cînd mineralizația este compactă se stabilesc marșuri egale de pînă la 2 m lungime;

— la corpurile de dimensiuni mari în toate direcțiile se pot stabili marșuri pe tipuri de mineralizație sau marșuri egale (de 1 m) cînd mineralizația este compactă;

— după extragerea carotei sau a fragmentelor de carotă se spală carotiera, operație care se repetă după fiecare marș de carotare;

— se va stabili cu precizie intervalul carotat și se va trece la stabilirea recuperajului.

Stabilirea recuperajului (r) se face la fiecare marș de înaintare, folosindu-se următoarea formulă:

$$r = \frac{l_c}{l_i} \cdot 100 [\%]$$

în care: l_c reprezintă lungimea carotei obținute la gura găurii de sondă;
 l_i — lungimea intervalului carotat.

În România se admite, conform normelor în vigoare, un recuperaj de minimum 80%.

Cînd l_c este egală cu l_i se obține un recuperaj foarte bun (caz ideal), dar de regulă, putem să ne situăm în prezența unei carote incomplete sau chiar să lipsească din tubul carotier, fenomen cauzat de:

- prezența unei mineralizații cu duritate mică;
- prezența unei mineralizații foarte fisurate;
- șocul hidraulic produs de fluidul de foraj asupra carotei etc.

În vederea obținerii unui recuperaj cît mai bun se impune a se lua o serie de măsuri cum ar fi:

- marșurile să fie cît mai scurte, de pînă la 2 m, pentru prevenirea frecării carotei de tubul carotier;
- turația garniturii de foraj să fie în funcție de formațiunile carotate;
- la traversarea corpului mineralizat se alege un tub carotier cît mai mare (în limitele găurii de sondă);
- folosirea carotierelor duble în cazul traversării formațiunilor fisurate sau sfărîmate tectonic;

— reducerea la minimum a circulației fluidului de foraj pentru evitarea spălării carotei (forajul uscat se recomandă la formațiuni afinate);

— în cazul traversării formațiunilor ușor dizolvabile se recomandă ca fluidul să aibă aceeași componenți cu corpul mineralizat;

— la ruperea carotei din talpă se recomandă folosirea dispozitivului pană etc.

În cazul obținerii unui recuperaj mic ($< 80\%$) se trece la recoltarea detritusului

După obținerea carotei, aceasta se spală cu jet de apă pentru a se îndepărta pelicula de fluid de foraj, iar după uscare se așază în lădițe de probe. Lădițele au lungini de circa 1 m, înălțimea mai mare decît diametrul carotei și lățimea cît să permită așezarea a 5—6 tronsoane paralele. Pentru evitarea frecării carotelor între ele, lăzile de probe sînt compartimentate.

Așezarea carotelor se face în ordinea extragerii, iar intervalul de carotare se va menționa pe marginea fiecărui compartiment.

Dacă o probă este mai lungă decât lungimea lădiței (unui compartiment) se continuă așezarea în compartimentul următor, dar probele despărțindu-se la capete prin bucăți de scindură.

În cazul unui recuperaj acceptat se trece la documentarea geologică și în final la probarea propriu-zisă a carotelor.

Lăzile se numerotează la capete în ordinea în care conțin și carotele. Obținerea detritusului se poate impune din două motive și anume: datorită nerealizării unui recuperaj corespunzător ($< 80\%$) sau datorită naturii substanței minerale utile.

Detritusul reprezintă partea solidă de substanță minerală utilă rezultată din spațiul inelar realizat de carotieră, la care se mai adaugă și partea solidă din tubul carotier.

Recuperarea detritusului se impune și în cazul unui recuperaj acceptat, deoarece de cele mai multe ori în timpul carotajului se poate produce o scădere a conținutului în componenți utili a materialului din carotă, deci implicit introducerea unei erori mari la calculul rezervelor geologice.

Una din problemele importante ale obținerii detritusului este recuperarea cât mai bună a acestuia. În acest sens se folosesc mai multe metode dintre care menționăm: 1) cântărirea detritusului uscat obținut și compararea masei acestuia cu masa volumului teoretic; 2) compararea cantității de apă introdusă în sondă cu cea extrasă. La o pierdere mai mare de 20% se impune tubarea găurii de sondă.

Detritusul se recoltează de pe același interval de pe care s-a extras și carota (material de probat format din carotă + detritus) sau detritus din intervalul în care ne-am propus să efectuăm probarea.

Recoltarea detritusului se poate face cu ajutorul unui tub colector montat la partea superioară a tubului carotier — în cazul când circulația se face cu apă sau cu fluid cu densitate mică — sau a unei instalații de captare a detritusului cu hidrociclon submersibil — în cazul fluidelor de foraj cu densitate mare; această instalație este folosită în mod frecvent în procesul de explorare.

Detritusul astfel obținut va purta un act de identitate corespunzător intervalului de probare.

Probarea carotei și a detritusului se impune în funcție de modul cum se prezintă materialul obținut din intervalul de probare; dacă materialul este sub forma unei carote cu recuperaj $> 80\%$ se probează numai carota; dacă materialul obținut este sub formă de carotă și detritus se probează amândouă componentele, iar dacă avem numai detritus se probează numai acesta.

a) *Probarea mineralogică* se aplică la carote, deoarece în cazul detritusului elementele componente au dimensiuni prea mici pentru a putea fi supuse studiului microscopic. În cazul carotelor, probarea constă în detașarea cu ciocanul sau cu dalta a unei porțiuni mici, în special din partea de carotă rămasă ca martor în cazul probării (metoda înjumătățirii axiale).

La obținerea probelor mineralogice se are în vedere următoarele:

- proba sau mai precis secțiunea subțire sau șlefuită nu se alege din porțiunea unde structura a fost modificată ca urmare a carotajului;
- probele pot reprezenta tipuri reprezentative de mineralizație sau de rocă sterilă;
- pe materialul probă se va marca exact locul unde trebuie să se execute secțiunea;
- în actul de identitate al probei se va marca exact adâncimea de prelevare etc.

Probarea mineralogică se recomandă deoarece ne dă o imagine cât mai bună asupra compoziției mineralogice și petrografice a mineralizației; se aplică în special în cazul explorării preliminare sau în extindere, urmînd ca datele obținute să servească explorării de detaliu.

b) *Probarea pentru determinarea caracteristicilor chimice a substanței minerale utile* (probarea chimică), în cazul carotelor, se face prin trei metode mai utilizate în practică și anume:

- metoda înjumătățirii axiale;
- metoda brazdelor după generatoarele carotelor;
- metoda reținerii integrale a carotelor.

Metoda înjumătățirii axiale constă în spargerea carotei după un plan axial, operație care se face fie manual fie mecanic.

Înjumătățirea manuală a carotei se face cu dalta și ciocanul, metodă care are o largă aplicabilitate și în prezent, deși înjumătățirea corectă nu se face decât foarte rar.

Metodologia despicării manuale după un plan axial constă în așezarea carotei pe o placă sau șină, după care cu dalta și ciocanul se urmărește planul axial, care în prealabil a fost trasat pe suprafața carotei (fig. XII.36).

După fiecare probă recoltată se curăță locul de probare pentru a evita contaminarea probei următoare.

Așa cum s-a mai menționat, nu întotdeauna despicarea se face după planul materializat pe carotă, deoarece de cele mai multe ori carota are prinse în ea și fisuri cu minerale de neoformație cu duritate mică, iar despicarea în cazul șocului tinde să se facă după planul de fisurație.

Din motivul menționat mai sus și pentru a mări productivitatea acestei metode de probare se folosesc pe scară tot mai largă dispozitive mecanice, la care tăierea după planul axial se face cu discuri cu inserții de diamante.

În urma aplicării acestei metode se obțin două jumătăți de carotă (fig. XII.37) una ca probă martor, iar alta proba pentru analize chimice.

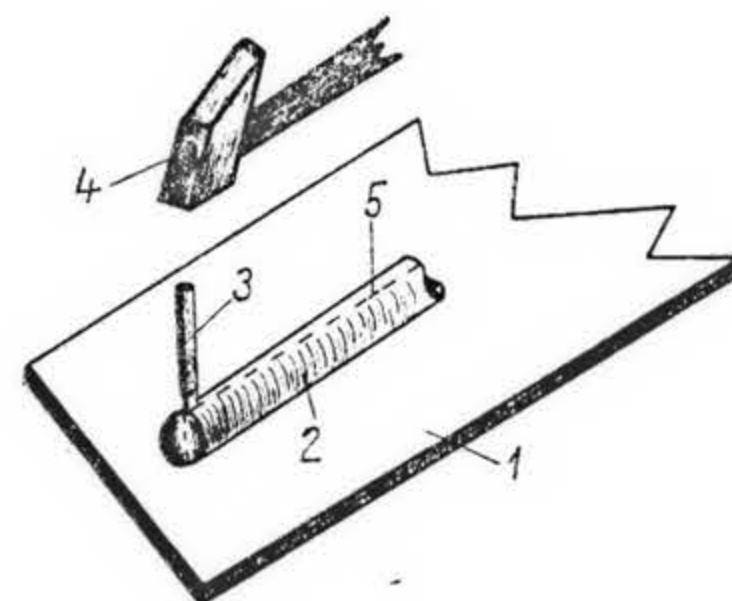


Fig. XII.36. Modul de despicare manuală a carotei după planul axial:
1 — placă metalică; 2 — carotă; 3 — dalta;
4 — ciocan; 5 — plan axial.

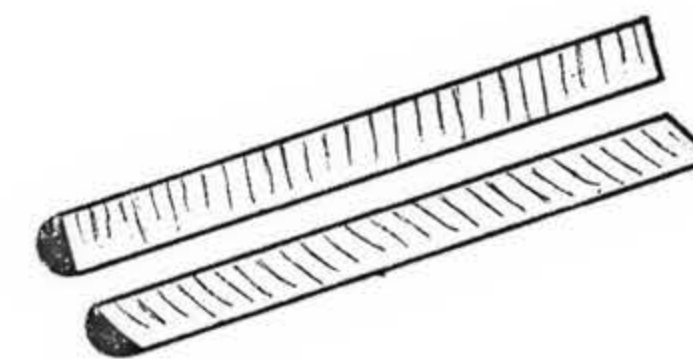


Fig. XII.37. Carotă despicată după un plan axial.

Metoda brazdelor după generatoarele carotelor constă în recoltarea materialului probă dintr-o brazdă sau mai multe, în funcție de gradul de uniformitate a componentelor utili, brazde recoltate după generatoarele carotelor (fig. XII.38).

Prelevarea brazdelor se face mecanizat cu discuri acționate mecanic. Se pot recolta brazde din mai multe carote simultan, mărind astfel gradul de operativitate al probării.

Probarea prin brazde prezintă o serie de avantaje în comparație cu metoda înjumătățirii axiale, cum ar fi:

- gradul de reprezentativitate mai ridicat, dată fiind adâncimea constantă a brazdei;
- posibilitatea reprobării carotei;
- se reduc substanțial cheltuielile de prelucrare a probei, deoarece materialul probă este sub formă de pulbere;
- productivitatea mare ca urmare a mecanizării complete a operației;
- se obține o greutate a materialului probă de circa 150–200 g;
- partea rămasă din probă este mult mai mare în comparație cu cea de la prima metodă, având astfel posibilitatea măririi numărului de cercetări etc.

Metoda de probare prin reținerea întregii carote se aplică numai în cazul forajelor cu diametru mic, de regulă în cazul celor executate din subteran.

Această metodă constă în reținerea întregii carote de pe lungimea de probare (circa 1 m). Se aplică numai în cazul forajelor executate din subteran, deoarece are marele dezavantaj că nu oferă posibilitatea obținerii de probe martor.

Probarea detritusului se face și în cazul în care proba se compune din carotă + detritus și în cazul în care se compune numai din detritus.

Fig. XII.38. Secțiune transversală printr-o carotă probată prin metoda brazdelor, după generatoarea acesteia.

După recoltarea detritusului, acesta se curăță de elemente metalice (provenite din uzura alicelor sau a coroanelor), curățire care se poate face cu ajutorul unui magnet.

În cazul probelor carotă + detritus, materialul care se adaugă la carotă trebuie să aibă același act de identitate. Dacă cantitatea de detritus este de câteva kilograme, acesta se împachetează împreună cu carota de pe același marș.

Când cantitatea de detritus este mare, se constituie proba de detritus prin metoda sfertuirii, avându-se în vedere faptul că granulația este destul de mică.

Indiferent de forma sub care este materialul probă, acesta se împachetează în săculeți și împreună cu actul de identitate se expediază la laboratorul de analize.

c) *Probarea tehnică* se aplică destul de rar și mai ales în cazurile când nu există posibilitatea de a obține informații din lucrări miniere.

În cazul în care se impune și acest mod de probare, probele se iau numai din carote. În funcție de scopul probării tehnice, probele (porțiuni centimetrice de carote) se parafinează, se pun în tuburi închise ermetic sau pur și simplu se pun în pungi de hirtie.

De regulă, acest mod de probare se aplică în explorarea preliminară, dar și în explorarea de detaliu, când nu avem lucrări miniere.

d) *Probarea tehnologică* (faza de laborator) constă în comasarea materialului rămas de la determinările chimice, material provenit din mai multe tronsoane de probare, dar în funcție și de perspectiva de valorificare a mineralizației.

Din foraje se recoltează probe tehnologice numai pentru faza de laborator, ca urmare a cantității mici de material care se obține.

Probele tehnologice, faza de laborator, pot conține material dintr-un singur foraj sau dintr-un grup de foraje, dar din același tip de mineralizație.

Acest mod de probare se aplică numai în explorarea preliminară și rămâne numai cu caracter informativ, ca urmare a gradului mic de reprezentativitate.

4.2. PROBAREA ÎN CAZUL FOLOSIRII ÎN EXPLORARE A FORAJULUI MECANIC PERCUTANT

Forajul mecanic percutant are din ce în ce mai puține întrebuințări în practica explorării geologice. Se folosește mai mult în cazul corpurilor de dimensiuni mari și cu o distribuție cât mai uniformă a componentilor utili și mai precis în explorarea în extindere a acestor corpuri.

Diametrul găurii de sondă este mare, începând de la 100 mm până la 600 mm, în raport cu acest diametru fiind și masa materialului de probat extrasă pe un tronson de 1 m, masă care poate să varieze de la zeci de kilograme până la sute de kilograme.

În vederea unei probări cât mai reprezentative, trebuie să se țină seama de o serie de factori cum ar fi:

- probele se iau pe intervale egale (de 1,0–1,5 m) în cazul corpurilor cu mineralizație omogenă și inegală când într-un corp apar zone cu diferite omogenități și exploatarea s-ar putea face selectiv; intervalul de probare se stabilește prin încercări experimentale;
- trebuie acordată mare atenție pierderii de detritus, deci unei modificări a raporturilor între minerale din material și cele din mineralizație. În acest sens se face o verificare permanentă prin compararea masei detritusului extras cu cea a detritusului rezultat din calculul teoretic;

— trebuie luate toate măsurile în vederea susținerii găurilor de sondă, când este cazul, pentru a împiedica contaminarea materialului de probă;

— înainte de a se trece la recoltarea unei probe, se spală bine talpa sondei până ce apa devine limpede și apoi se trece la operația de recoltare a materialului de probă.

Materialul obținut de pe tronsonul în care urmează a se efectua probarea se prezintă sub formă de turbureală, material care se aduce la suprafață cu lingura de lăcărârit și se pune într-o ladă metalică. Partea solidă din turbureală, așa cum s-a mai precizat, poate avea o masă de la zeci de kilograme până la sute de kilograme. Pentru analizele chimice este nevoie de cantități de cel mult câteva kilograme. Având în vedere acest lucru și faptul că partea solidă din turbureală are dimensiuni mici, acest material se poate reduce chiar în faza de turbureală.

Probarea în cazul forajului mecanic percutant are în final două etape distincte: una de extragere a materialului de probat, iar a doua de reducere a acestuia, deci probarea propriu-zisă.

Având în vedere forma sub care se prezintă materialul de probat, în cazul forajului percutant se pot recolta trei tipuri de probe:

- probe mineralogice de analiză sub lupa binoculară;
- probe chimice;
- probe tehnologice.

Probele tehnologice se pot recolta pentru încercări în fază de laborator și în fază pilot și se compun din materialul extras de pe un tronson de probare, dintr-un foraj sau de pe anumite porțiuni de mineralizație.

Probele chimice sînt cele mai frecvente și, de regulă, se prelevează ori de câte ori se execută un asemenea foraj.

Probarea în cazul determinărilor chimice se face prin două procedee, și anume: prin trecerea turburelei printr-un set de divizoare cu jgheaburi și prin puncte cu un dispozitiv sondă.

— *Procedeele de trecere a turburelei prin jgheaburi divizoare* este destul de des folosit și constă în trecerea turburelei din lada metalică prin jgheaburi de dimensiuni din ce în ce mai reduse. Jgheaburile sînt montate în așa fel încît după prima trecere turbureala

este împărțită în două părți egale, iar după ultimul set de jgheaburi se obține proba pentru analize și proba martor.

— *Procedeu prin puncte* constă în probarea cu ajutorul *dispozitivului-sondă* în lădița de colectare a tulburelii, în circa 5–8 puncte distribuite cât mai uniform pe suprafața lăzii. Dispozitivul sondă se compune dintr-o țevă prevăzută cu un dispozitiv de închidere la partea inferioară după ce s-a prelevat proba punctiformă, țevă care prin introducerea în poziția verticală în lada cu tulbureală reține o parte din material. Proba finală se compune din circa 5–8 probe punctiforme.

La recoltarea probelor prin puncte se au în vedere următoarele etape:

- omogenizarea tulburelii până la fundul lăzii;
- introducerea dispozitivului-sondă în poziție verticală și cu o mișcare cât mai rapidă;
- închiderea dispozitivului (la partea inferioară);
- ridicarea cât mai rapidă a dispozitivului;
- golirea dispozitivului într-un vas care conține proba;
- uscarea probei prin evaporarea apei (naturală sau artificială), avându-se în vedere faptul că dacă se folosește evaporarea artificială, temperatura nu trebuie să depășească 100–105°C.

La adâncimi mici ale găurii de sondă, în loc de apă se poate folosi aerul comprimat, dar în acest caz trebuie avută mare atenție la recuperarea prafului.

4.3. PROBAREA ÎN CAZUL FOLOSIRII FORAJULUI MANUAL, SEMIMECANIC, ROTATIV ȘI ROTATIV-PERCUTANT ÎN EXPLORAREA GEOLOGICĂ

Forajul manual și în ultima vreme forajul semimecanic uscat (fără fluid de spălare) este din ce în ce mai mult folosit în explorarea geologică a zăcămintelor situate la mică adâncime (< 300 m), zăcămintele de caolin, argile, nisipuri, pietrișuri, diatomite, bentonite etc. Diametrul găurii de sondă este cuprins între 600 mm (diametru inițial) și 50 mm (diametru final). La executarea unui asemenea foraj, de regulă, se folosesc coloane telescopice, începându-se de la diametru mare și în final ajungându-se la diametre mici.

Tronsonul de probare este cuprins între 0 și 3 m și, de regulă, corespunde cu un marș de înaintare. Probele au o masă de la câteva kilograme până la zeci de kilograme.

În cazul forajului manual probele se iau cu următoarele instrumente, fiecare instrument corespunzând unui anumit tip de rocă, astfel:

— *burghiul* se folosește la forarea în cazul argilelor sau a altor roci cu friabilitate ridicată, iar proba se obține odată cu scoaterea burghiului; materialul care se desprinde de pe burghiu se așază pe o platformă metalică sau pe o scândură;

— *borsapa de foraj* este tot un instrument de săpare și curățire a găurii de sondă, utilizându-se în cazul terenurilor afinate (nisipuri argiloase, nisipuri etc.); prin rotirea sapei antrenată de garnitura de prăjini, materialul (proba) este desprins de piesa tăietoare de la baza sapei și introdus în corpul sapei, urmînd a fi ridicat la suprafață;

— *lingura de lăcărît* se folosește pentru aducerea materialului la suprafață în cazul în care formațiunea este situată sub nivelul hidrostatic sau cînd s-a făcut o forare hidraulică; materialul probă intră în corpul lingurii (cilindru) pe la partea inferioară, unde aceasta este prevăzută cu o clapetă care la coborîre stă ridicată (deci permite intrarea tulburelii în corpul lingurii), iar la ridicare stă închisă.

Proba este sub formă de tulbureală și parte grosieră, fapt pentru care materialul se pune într-un vas pentru decantare. Din materialul umed se ia proba, ca și în cazul forajului mecanic percutant.

Probele, în cele trei cazuri de extragere, sînt probe tulburate, iar materialul are compoziția medie a formațiunii din intervalul de probare.

Dacă se impune recoltarea de probe netulburate, atunci se folosește *ștuțul*, dispozitiv ce se montează la partea inferioară a garniturii de foraj.

Prin lăsarea garniturii libere ștuțul se înfige în formațiunea de probat (ca urmare a greutateii garniturii de foraj), iar prin ridicare la suprafață, fără rotirea garniturii, se obține proba netulburată, care este prinsă în interiorul ștuțului, ce se demontează și se parafinează, după care se expediază la laborator.

Deosebirea între forajul manual și cel semimecanic constă în modul de acționare a garniturii de prăjini.

Pentru evitarea impurificării probei, în toate cazurile posibile se încearcă înfigerea coloanei de tubaj pe cel puțin adîncimea unui tronson de probare, iar cînd se întîlnesc mai multe strate acvifere se izolează fiecare strat cu cîte o coloană, trecîndu-se la stratul următor cu o coloană mai mică.

Așa cum s-a mai menționat, o probă poate fi constituită din tot materialul dintr-un tronson de probare (cînd tronsonul corespunde cu marșul de înaintare) sau din probe parțiale cînd tronsonul de probare este străbătut prin mai multe marșuri — fiecare marș reprezentînd o probă parțială.

În cazul probelor parțiale, acestea se adună pe o platformă metalică sau din scîndură și dacă nu sînt necesare observații geologo-mineralogice pe probe parțiale, probele se comasează, se omogenizează, după care urmează reducerea pînă la o probă de cîteva kilograme, iar restul de material (de la ultima reducere) se pune în lăzi de probe și reprezintă proba martor.

Probele astfel obținute pot servi ca probe mineralogice, probe chimice, probe tehnice și probe tehnologice faza de laborator și chiar pilot.

Probarea în cazul forajelor manuale și semimecanice are marele avantaj că materialul are calități care nu diferă mult de cele din situ, ba mai mult, structura nu este afectată esențial ca urmare a sfărîmării materialului sau a ajungerii lui în contact cu fluidul de foraj.

Forajul manual și semimecanic se folosește mult în recoltarea probelor tehnice, deoarece are marele avantaj că se pot recolta probe netulburate și cu caracteristici tehnice asemănătoare cu cele din situ.

5. PRELUCRAREA PROBELOR GEOLOGICE PENTRU DETERMINAREA CONȚINUTULUI ÎN COMPONENTE UTILE ȘI DĂUNĂTORI

În vederea determinărilor calitative și cantitative a componentelor utili și dăunători dintr-o probă geologică (recoltată în urma explorării geologice), de masă inițială m , care de regulă variază de la cîteva sute de grame pînă la zeci de kilograme, trebuie să se supună proba la un număr de reduceri, ca în final să se obțină o masă finală de cîteva zeci de grame

până la sute de grame (după unii autori), masă necesară pentru analize chimice, spectrografice etc. Cantitatea finală este în funcție de numărul de componente, de necesitatea unei probe martor (pentru analize de control intern și extern) și a unei probe duplicat.

Reducerea masei inițiale la o masă finală trebuie făcută în așa fel încât să nu se diminueze caracterul ei reprezentativ, adică, să se păstreze raportul cantitativ dintre mineralele componente. Această reducere se realizează printr-o serie de operații ca: sfărâmare, măcinare, cernere, omogenizare, reducere, operații înalte și care reprezintă prelucrarea probelor.

Operația de prelucrare este cu atât mai complexă cu cât gradul de neomogenitate mineralogică și masa probei sunt mai mari.

Reducerea probei inițiale ar putea fi făcută și prin reducerea granulației probei până la dimensiunile necesare pentru analize (0,1–0,07 mm), după care ar urma omogenizarea materialului obținut și, în final, reducerea lui prin înjumătățire până la obținerea cantității necesare analizei. Acest mod de reducere are o serie de inconveniente (în special pentru probe de masă mare), cum ar fi:

- cheltuieli mari pentru mijloace tehnice;
- consum mare de energie;
- timp îndelungat pentru prelucrare.

Pentru înlăturarea acestor inconveniente, în practică se utilizează o serie de scheme de prelucrare a probelor, care au la bază formula lui Ccciott:

$$m = k \cdot d^2,$$

în care: k este o constantă ce depinde de tipul de minereu, fiind determinată experimental și tabelată, valoarea sa oscilând între 0,02 și 1,00 (uneori chiar mai mult);

d — diametrul celor mai mari granule din cadrul probei.

Schemele de prelucrare a probelor urmăresc, în principal, câteva aspecte cum ar fi:

- menținerea reprezentativității materialului probă în procesul reducerii acestuia;
- reducerea timpului de prelucrare a probei, ca urmare a capacității relativ mici

a aparaturii de laborator;

- reducerea costurilor.

Într-un caz concret, pentru o probă ai cărui parametri (m , d și k) se cunosc, se pot stabili:

- gradul de reducere: $r = m/m'$;
- gradul de sfărâmare: $q = d/d'$;
- numărul de reduceri n , care se poate stabili în funcție de r sau de q .

Gradul de reducere se poate stabili astfel:

- după prima reducere $r_1 = m/m_1 = 2 = 2^1$;
- după a doua reducere $r_2 = m/m_2 = 4 = 2^2$;
- după a treia reducere $r_3 = m/m_3 = 8 = 2^3$;
- după n reduceri $r_n = m/m_n = 2^n$,

de unde rezultă că numărul de reduceri n este egal cu puterea lui 2. În formulele de mai sus: m , d reprezintă masa și respectiv diametrul probei inițiale, iar m_1 , m_2 , m_3 , ..., m_n , d' sunt parametrii probei reduse în etape diferite.

Pentru întocmirea unei scheme de prelucrare a unei probe se urmăresc următoarele etape:

a) Se verifică dacă proba (de masă m) se poate reduce fără a se modifica granulația minereului (d fiind diametrul maxim al fragmentelor). Pentru această verificare se calculează masa probei reduse, m_r , în funcție de diametrul maxim $d_r = d$, folosindu-se formula lui Ccciott ($m_r = k d_r^2$), iar în funcție de gradul de reducere, $r = m/m_r$ se ia o decizie sau alta după cum urmează:

- dacă $r \geq 2$ proba se poate reduce fără nici o prelucrare, o dată (dacă $r = 2$),

de două ori (dacă $r = 2^2$), de trei ori (dacă $r = 2^3$) etc. În funcție de r (raportul maselor), care poate fi cuprins între limitele: $2^n < r < 2^{n+1}$, iar n este un număr întreg și pozitiv, se obține numărul de reduceri care reprezintă puterea cea mai mică a lui 2;

— dacă $r < 2$ nu se admite reducerea probei fără a fi prelucrată, iar în această situație se trece la a doua etapă.

b) Întocmirea schemei de prelucrare a probei, care cuprinde mai multe faze, în funcție de aparatura laboratorului de prelucrare a probelor. Dacă se are la dispoziție următoarea aparatură:

— concasor cu fălci cu un diametru final de 8 mm;

— concasor cu valțuri cu un diametru final de 2,4 mm;

— concasor cu valțuri cu un diametru final de 1,4 mm;

— moară cu vâlătuci cu un diametru final 0,1 mm, schema prelucrării probei va fi cea din fig. XII.39, schemă întocmită după cum se arată în continuare. Deci, dacă prola nu se poate reduce fără prelucrare ($r < 2$), toată cantitatea de probă se trece prin primul aparat (concasorul cu fălci cu diametrul final de 8 mm), după care se calculează din nou masa m_1 la un diametru de $d_1 = 8$ mm și r_1 (teoretic) și se observă între ce limite variază valoarea lui r_1 ($2^{n_1} < r_1 < 2^{n_1+1}$), obținându-se în acest mod numărul de reduceri din prima fază (n_{1s}), fără a se diminua caracterul reprezentativ al probei.

După cele n_{1s} reduceri din prima fază (corespunzătoare primului aparat) se trece în faza a doua, care presupune trecerea materialului după a n_{1s} reduceri prin concasorul cu valțuri, care are diametrul final $d_2 = 2,4$ mm, iar în final se repetă raționamentul din prima fază, obținându-se numărul de reduceri din faza a doua, n_{20} .

La fel se procedează pentru concasorul cu valțuri cu diametrul final $d_3 = 1,4$ mm, iar cantitatea de material rezultată după a n_{3t} reduceri se prelucurează în faza a patra cu moara cu vâlătuci $d_4 < 0,1$ mm, urmînd să se procedeze la reduceri succesive, pînă se obține cantitatea de material necesară pentru analiză (care este în funcție de numărul de componente de determinat și de tipul de analiză). Numărul de reduceri n_{4p} este egal cu numărul de reduceri succesive. Se procedează la reduceri succesive deoarece $d_4 < 0,1$ mm este necesar pentru analize.

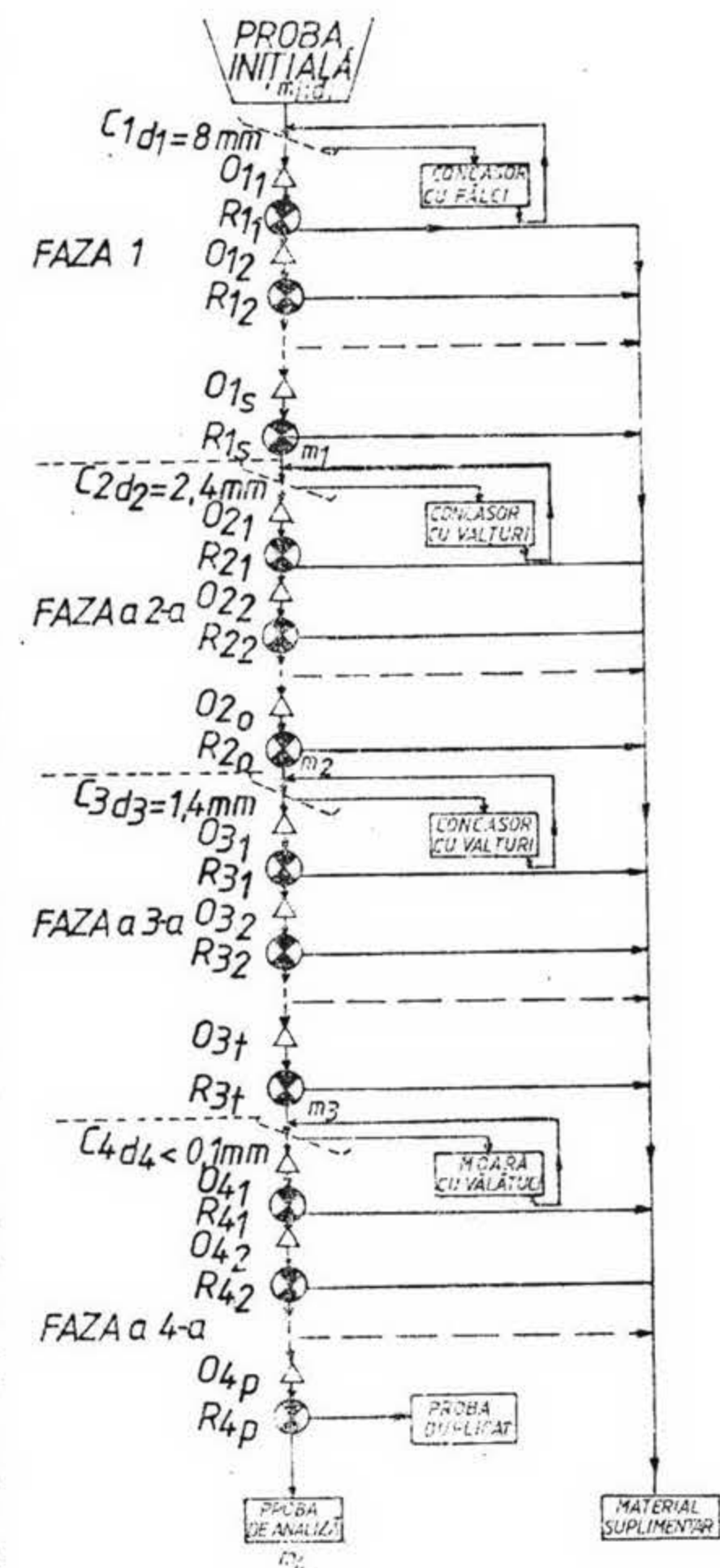


Fig. XII. 39. Schema de prelucrare a unei probe geologice în vederea determinării conținuturilor în elemente chimice:

$C_1 \dots C_4$ — cioruri; O — omogenizare; R — reducere; s, o, t, p — numărul de omogenizări, respectiv de reduceri din fiecare fază; $m_1 \dots m_4$ — mase reduse după fiecare fază; $d_1 \dots d_4$ — diametrele găurilor ciorurilor, respectiv diametrele finale de la aparate.

XIII. CAROTAJUL GEOFIZIC

Şef lucrări, dr. ing. AURELIAN NEGUŢ

Pentru rezolvarea problemelor prospecțiunii și explorării acumulărilor de substanțe minerale solide, alături de informațiile geofizică și geologică directă obținută prin foraje și lucrări miniere, se folosesc, cu bune rezultate, și datele carotajului geofizic.

Prin denumirea generică de *carotaj geofizic* se înțelege complexul de metode și procedee în care se înregistrează variația unor parametri fizici ai rocilor de-a lungul profilului traversat de forajele efectuate pentru cercetarea diferitelor substanțe minerale utile.

Aplicarea eficientă a metodelor de carotaj geofizic trebuie să aibă în vedere, pe de o parte, varietatea foarte mare a substanțelor minerale utile solide ce prezintă interes practic și, pe de altă parte, contrastul de proprietăți fizice care se poate realiza între acestea și rocile care le găzduiesc.

Unele particularități ale carotajului geofizic pentru minereuri, cărbuni și alte substanțe solide își au originea în însăși caracteristicile sondelor în ceea ce privește diametrul, adâncimea, natura fluidului de foraj folosit, locul sondei (la suprafață sau în subteran) și chiar accesibilitatea la sondă.

Metodele și tehnicile de lucru folosite vizează atât detectarea și delimitarea substanțelor minerale cât și obținerea elementelor necesare pentru evaluarea conținutului de substanță utilă din rocile cercetate; pentru a fi eficiente, aceste metode și tehnici trebuie să fie integrate rațional în succesiunea normală de prospecțiune și explorare aplicată într-o anumită zonă de lucru.

Principalele probleme puse carotajului geofizic pentru substanțe minerale solide pot fi sintetizate astfel:

- separarea și caracterizarea *in situ* a formațiunilor după natura litologică și corelarea lor;
- detectarea și delimitarea anumitor substanțe minerale în formațiunile traversate prin foraje;
- determinarea grosimii și plasarea limitelor corpurilor de minereu sau zonelor mineralizate și a stratelor de cărbuni; stabilirea poziției lor structurale;
- determinarea tipului de substanță minerală utilă detectată;
- evaluarea cantitativă a conținutului în substanțe utile din minereu și conținutului în cenușă a cărbunilor;
- identificarea și delimitarea formațiunilor acvifere și caracterizarea dinamicii apelor subterane în strînsă legătură cu lucrările miniere de explorare și exploatare;
- estimarea *in situ* a unor parametri fizico-mecanici ai rocilor.

Carotajul geofizic s-a dovedit a fi de un real folos în rezolvarea unor astfel de probleme; în plus, ca metodă indirectă prezintă o serie de avantaje în raport cu metodele directe bazate pe analiza carotelor mecanice și anume:

- dă un profil complet și continuu al formațiunilor, suplinind recuperajul redus și caracterul discontinuu al carotelor;
- datele obținute sînt mult mai reprezentative deoarece măsurătorile geofizice se referă la volume de roci mult mai mari decît cele ale carotelor extrase;

— delimitează cu suficientă precizie zonele mineralizate, corpurile de minereuri, stratele de cărbuni și alte substanțe;

— furnizează datele necesare pentru stabilirea conținutului în substanță utilă al minereurilor sau în cenușă a cărbunilor la un grad de încredere comparabil cu acela obținut din analizele de laborator;

— pe baza parametrilor fizico-mecanici ai rocilor determinați *in situ* și a particularităților hidrogeologice evaluate prin carotaj geofizic, pot fi deduse informații utile necesare pentru optimizarea execuției lucrărilor miniere;

— obținerea tuturor informațiilor într-un timp relativ scurt și la costuri mai reduse.

1. PRINCIPIILE DE BAZĂ ALE METODELOR DE CAROTAJ GEOFIZIC APLICATE ÎN GEOLOGIA MINIERĂ

În problemele de geologie minieră se aplică în prezent un complex de metode și tehnici de carotaj geofizic care au la bază variația proprietăților fizice ale rocilor și substanțelor minerale utile căutate. Aceste proprietăți fizice au fost deja prezentate pe larg în capitolul referitor la Prospecțiunea geofizică.

Pentru înregistrarea variației parametrilor fizici în funcție de adâncime, în multiplele variante de carotaj geofizic se folosește o aparatură automată complexă, constituită din două părți: *aparatura de sondă* și *aparatura de suprafață*. Legătura dintre ele este realizată prin intermediul cablului de carotaj multiconductor cu armătură metalică.

Semnalele electrice obținute de la traductorii din aparatura de sondă sînt transmise prin cablu, prelucrate în aparatura de suprafață și înregistrate, în urma unei calibrări corespunzătoare, sub formă de curbă continuă în funcție de adâncime.

Multiplele condiții întâlnite la cercetarea sondelor săpate pentru substanțe minerale utile solide (zone greu accesibile, sonde săpate din subteran etc.) au făcut ca aparatura de carotaj geofizic de mică adâncime să fie realizată sub formă portabilă.

1.1. CAROTAJUL DE REZISTIVITATE APARENTĂ

Domeniul foarte larg de variație al rezistivității electrice a rocilor în funcție de natura lor litologică, precum și de conținutul în apă și minerale conductoare, face posibil aplicarea cu mare eficiență a metodei la cercetarea zăcămintelor de minereuri. Există mai multe procedee practice care se aplică în prezent sau care au aplicații potențiale în acest domeniu.

1.1.1. CAROTAJUL OBIȘNUIT (STANDARD)

Constă în măsurarea rezistivității aparente cu dispozitive potențiale și gradient, prin crearea unui câmp electric care se deplasează de-a lungul sondei și măsurarea unei diferențe de potențial între două puncte ale mediului cercetat.

Schemele principale de măsurare folosind dispozitive potențiale sau gradient sînt indicate în fig. XIII.1.

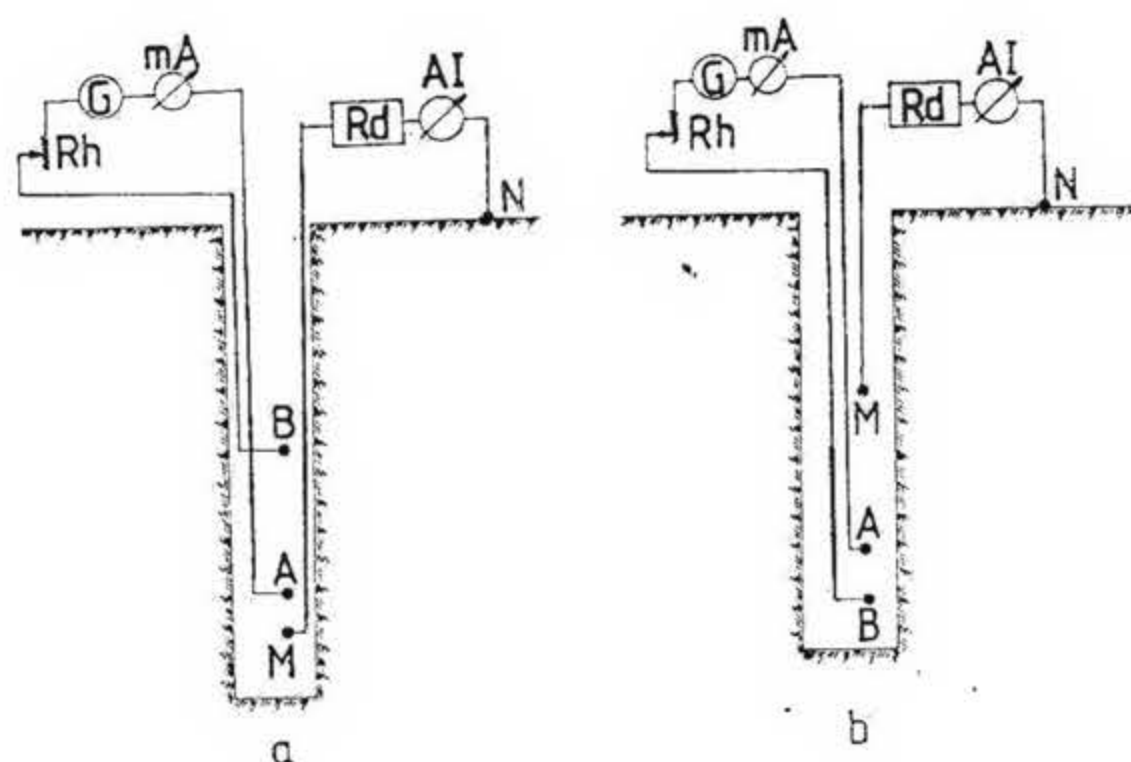


Fig. XIII.1. Schemele principale de măsurare utilizate în carotajul electric obișnuit :

a — dispozitiv potențial; b — dispozitiv gradient.

În înregistrările curențe se preferă folosirea dispozitivelor bipolare care permit înregistrarea simultană a curbelor de rezistivitate și PS.

Rezistivitatea măsurată ρ_A se calculează cu relația :

$$\rho_A = K \frac{\Delta V}{I}$$

în care K , constanta dispozitivului, depinde numai de configurația geometrică a acestuia.

De obicei, în fiecare sondă se înregistrează două curbe de rezistivitate : una cu dispozitiv potențial (curba potențială) și una cu dispozitiv gradient (curba gradientă). În general, cele două curbe prezintă valori diferite datorită volumelor de rocă implicate în măsurătoare, în funcție deraza de investigație a dispozitivelor utilizate. Obișnuit, volumul investigat cu dispozitivul potențial este mai mic decât cel investigat cu dispozitivul gradient. Diferențierea valorilor de rezistivitate înregistrate cu cele două dispozitive în fața aceleiași roci se explică prin influența fluidului de foraj din sondă și efectul pătrunderii acestuia în rocile poroase-permeabile traversate.

Pentru a putea efectua un carotaj electric obișnuit, sonda trebuie să conțină fluid de foraj ; în sondele uscate, săpate cu aer, carotajul electric obișnuit nu se poate aplica.

În principiu, dispozitivele folosite trebuie să asigure o rază de investigație suficient de mare și o bună rezoluție verticală. Rezoluția pe verticală ce trebuie asigurată de dispozitivele alese este strîns legată de grosimea minimă a stratelor sau zonelor mineralizate care prezintă interes practic.

Pentru înregistrarea rezistivității aparente se utilizează atît dispozitivele B2A03, M (potențial) și M2A0, 3 B (gradient) uzuale la investigarea sondelor săpate pentru hidrocarburi, cît și dispozitivele reduse B0, 5A0, 1 M (potențial) și M0, 5A0, 1B (gradient) ; acestea din urmă permit separarea cu mai mare precizie a stratelor sau zonelor mineralizate cu grosime mai mică.

1.1.2. CAROTAJUL CU CURENȚI FOCALIZAȚI.

Principial, metoda constă în investigarea mediului sondei cu ajutorul unui câmp electric creat de un curent dirijat aproape normal pe peretele sondei sub forma unui fascicul, printr-un sistem adecvat de focalizare. Pe această cale se realizează reducerea substanțială a influenței noroiului din sondă și a stratelor adiacente, influență ce putea avea o pondere mare în carotajul electric obișnuit.

Dintre dispozitivele focalizate, la investigarea sondelor de minereuri, cărbuni, săruri minerale se recomandă utilizarea dispozitivelor cu trei electrozi alungați (fig. XIII.2). Prin electrodul central A_0 se trimite un curent de intensitate I_0 , iar prin electrozii A_1 și A_2 scurtcircuitați un curent de intensitate I_1 și de aceeași polaritate cu I_0 . Curentul I_1 se reglează automat în raport cu I_0 astfel ca potențialul electrozilor A_1 și A_2 să se mențină la potențialul electrodului A_0 . În felul acesta este asigurată așa numita *condiție de focalizare*.

Lățimea pînzei de focalizare este aproximativ egală cu lungimea dispozitivului și determină grosimea minimă a stratelor care pot fi precis delimitate, fără o influență importantă a stratelor adiacente.

Dispozitivele focalizate reflectă litologia generală a formațiunilor traversate și separă foarte bine stratele subțiri. Cu ajutorul carotajului cu curenți focalizați pot fi localizate foarte bine zonele cu fracturi în rocile compacte, zonele de alterație, zonele mineralizate, stratele de cărbuni, stratele de sare, săruri de potasiu ș.a.

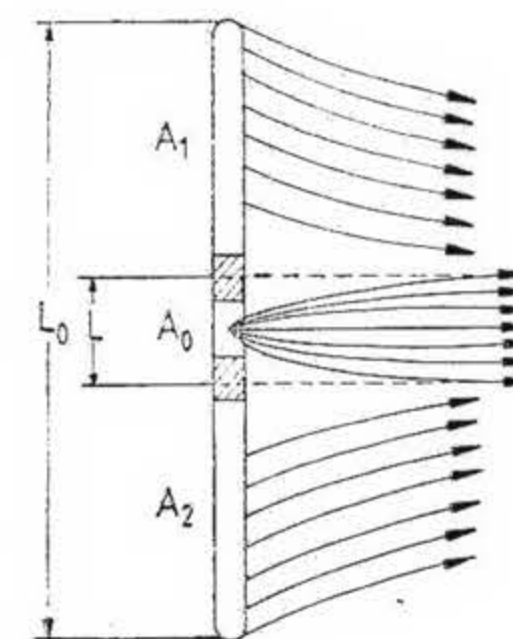


Fig. XIII.2. Schema de principiu a dispozitivului focalizat LL_3 :

A — electrod principal; A_1 , A_2 — electrozi de focalizare;
 L — lungimea dispozitivului;
 L — lungimea totală.

1.1.3. CAROTAJUL INDUCTIV

Principial, carotajul inductiv constă în următoarele : printr-o bobină transmițătoare (T) montată pe un suport izolant, se trimite un curent alternativ de o anumită frecvență. Câmpul magnetic variabil produs de bobină (câmp magnetic primar sau direct) dă naștere la curenți induși cu parcurs circular în formațiunile traversate. Curenții induși — a căror intensitate este proporțională cu conductivitatea formațiunilor — creează un câmp magnetic secundar care induce o f.e.m. într-o bobină receptoare (R) (fig. XIII. 3). situată la distanța L (lungimea dispozitivului) de bobina transmițătoare. Semnalul înregistrat este proporțional cu conductivitatea formațiunii în care se află dispozitivul.

Majoritatea dispozitivelor moderne de carotaj inductiv sînt dispozitive cu mai multe bobine, așa-numite *dispozitive focalizate*; aceste dispozitive au o mai bună rezoluție verticală și o rază de investigație mai mare.

Domeniul optim de aplicabilitate al carotajului inductiv este oferit de sondele care conțin un fluid de foraj cu rezistivitate mare (fluide negre, cu adaos de petrol) sau sondele uscate, întâlnite uneori la explorarea substanțelor minerale solide.

Carotajul inductiv, datorită rezoluției verticale foarte bune a dispozitivelor utilizate, delimitează cu precizie intervalele din gaura de sondă, mai ales cele conductoare cum sînt zonele mineralizate.

1.1.4. METODA CAROTAJULUI DE CURENT

Dacă de-a lungul profilului sondei se deplasează un electrod *A* conectat la o sursă de curent continuu, curentul care trece în mediul înconjurător variază în funcție de rezistivitatea mediilor traversate de sondă. Acesta este principiul care stă la baza metodei carotajului de curent cînd electrodul se deplasează pe axa sondei (fig. XIII.4 *a*) sau este fixat pe o patină (fig. XIII.4, *b*), în varianta denumită *contacte alunecătoare*.

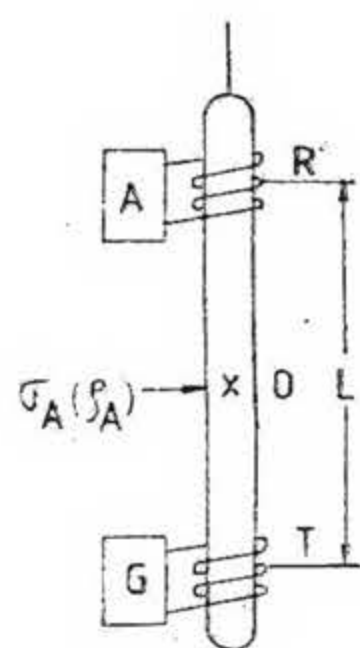


Fig. XIII.3. Schema principală a unui dispozitiv de carotaj inductiv cu două bobine.

Metoda carotajului de curent este indicată în zonele în care există contraste mari de rezistivitate între rocile care compun profilul sondei. Stratele care posedă o rezistivitate mică (zone cu mineralizații, antracite, roci argiloase, zone alterate) se remarcă prin maxime pe curbele carotajului de curent; stratele cu rezistivitate mare (gresii compacte calcare, roci eruptive) corespund la minime pe curbele carotajului de curent.

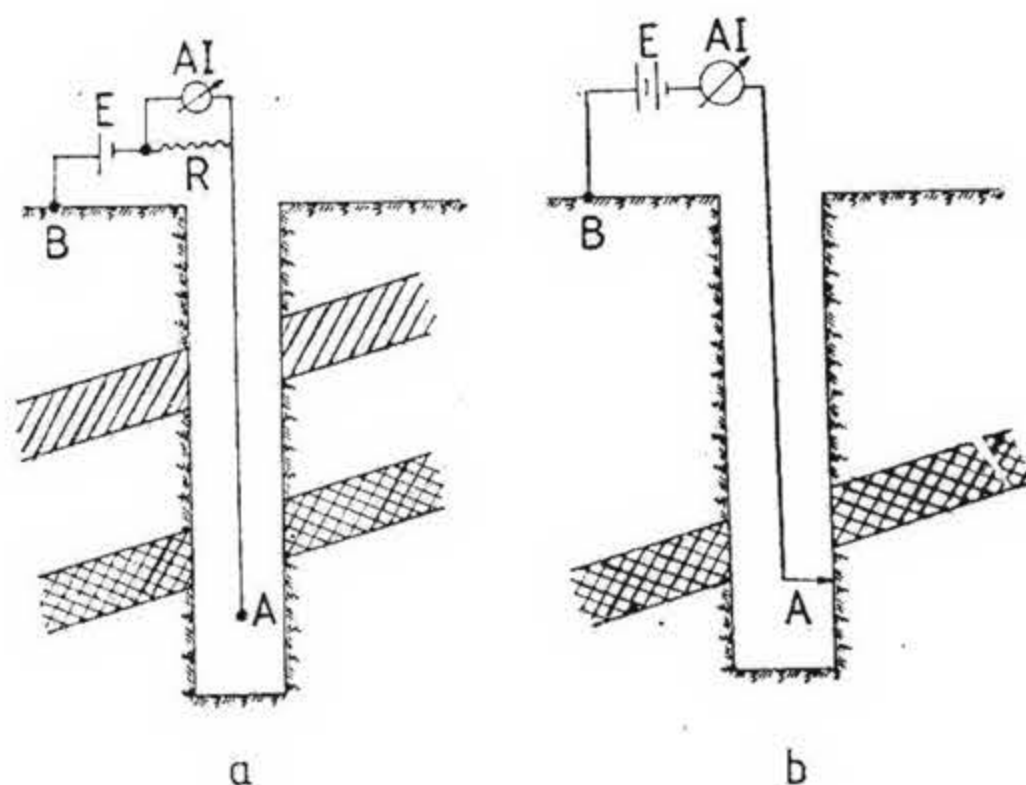


Fig. XIII.4. Schemele principale de măsurare în metoda carotajului de curent:

a — electrod centrat pe axa sondei; *b* — electrod la peretele sondei (contacte alunecătoare).

Pentru a reduce influența noroiului de foraj din sondă se recomandă aplicarea variantei contactelor alunecătoare. La contactul electrodului cu corpul de minereu sau roca cu rezistivitate foarte mică, rezistența de prizare a electrodului scade brusc și, ca urmare, crește curentul în circuit, ceea ce se înregistrează cu aparatul de măsură. De aceea rocile cu conductibilitate electronică, în special zonele cu minereuri, se remarcă prin indicații mărite pe diagrama obținută cu această metodă.

1.1.5. CAROTAJUL ELECTRIC CU MICRODISPOZITIVE SAU MICROCAROTAJUL

Este utilizat în practica cercetărilor geofizice în sonde ca mijloc de separare precisă a straturilor subțiri, de evidențiere a formațiunilor poroase și permeabile și evaluarea proprietăților lor colectoare.

Microcarotajul obișnuit constă în măsurarea rezistivității rocilor cu ajutorul unui dispozitiv cu trei electrozi coliniari, fixați pe o patină izolantă ce freacă pe peretele sondei. Electrozii sînt situați la distanțe egale de 2,5 cm. Cu acest sistem de electrozi se pot realiza două microdispozitive (fig. XIII.5):

- un microdispozitiv potențial $AM_3 = 0,05$ m;
- un microdispozitiv gradient $AO = 0,0375$ m.

Se înregistrează simultan două curbe de rezistivitate, care se raportează la volume mici de rocă situate în imediata vecinătate a peretelui sondei.

În afară de microcarotajul obișnuit, în prezent se utilizează și *microcarotajul cu curenți focalizați* (Microlaterolog) pentru cercetarea sondelor săpate cu noroaie mineralizate (sondele de explorare a sărurilor solubile — sare gemă, săruri de potasiu și magneziu) și a sondelor care traversează roci predominant rezistente (calcare, roci compacte eruptive și metamorfice).

Microcarotajul poate fi utilizat în sondele de minereuri și alte substanțe minerale solide, pentru delimitarea exactă a acestora, localizarea zonelor de fracturi, delimitarea straturilor poroase-permeabile și evaluarea porozității lor. Acestea pot fi strate acvifere care urmează a fi izolate în procesul de deschidere și exploatare a zăcămintelor.

1.1.6. ELECTROMETRIE DE SONDĂ ÎN CURENT CONTINUU

Sondele săpate pentru explorarea minereurilor, care au intersectat sau nu mineralizația, pot fi utilizate pentru măsurători combinate în diferite sisteme pentru rezolvarea următoarelor probleme geologice-miniere:

- prospectarea și evidențierea zonelor mineralizate adînci în spațiul din apropierea sondei;
- detectarea corpurilor de minereu care se găsesc mai jos de talpa sondei;
- determinarea poziției corpurilor de minereu în spațiul dintre sonde și corelarea zonelor mineralizate intersectate în sonde vecine;
- precizarea configurației geoelectrice în spațiul dintre sonde.

Variantele utilizate diferă prin poziția electrozilor de alimentare și de măsură. Sînt trei grupe de procedee de măsurare, care se pot defini, convențional, astfel:

Procedul „sondă-suprafață”, în care electrozul de alimentare A este plasat în sondă și măsurarea potențialului sau gradientului de potențial se efectuează la suprafață, după sistemul profilelor liniare (fig. XIII.6).

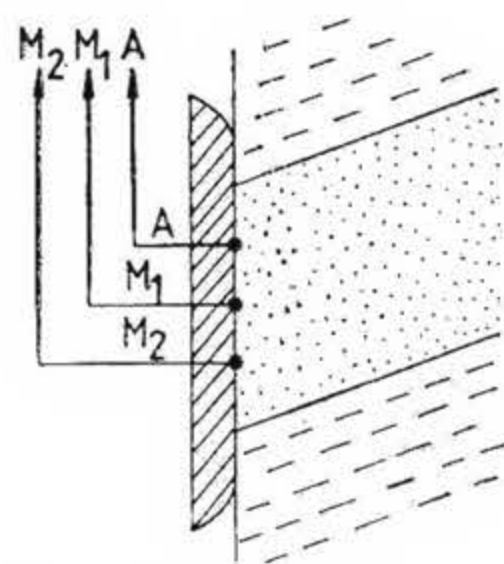


Fig. XIII.5. Schema de principiu a patinei dispozitivului de microcarotaj obișnuit

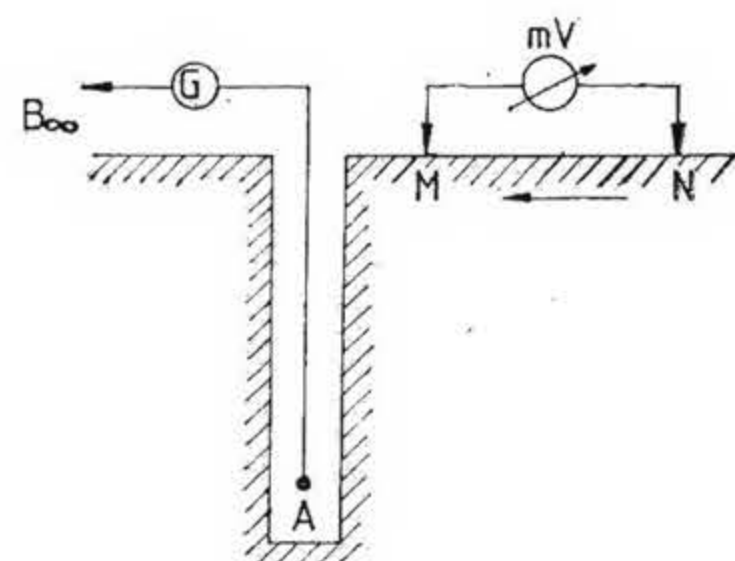


Fig. 6. Schema principială de măsurare în varianta „sondă-suprafață”.

Procedul „sondă-sondă”. Unul din electrozii de alimentare se coboară în sondă, iar celălalt se află la suprafață, la mare distanță de sondă (B_{∞}), măsurătoarea efectuându-se într-o sondă vecină sau câteva sonde, situate pe un profil sau profile vecine (fig. XIII. 7). Un caz particular este considerat acela când ambii electrozi de alimentare sînt situați în aceeași sondă, formînd un dipol. De asemenea, prezintă interes varianta în care electrozii de alimentare și de măsură din sonde vecine se deplasează sincron.

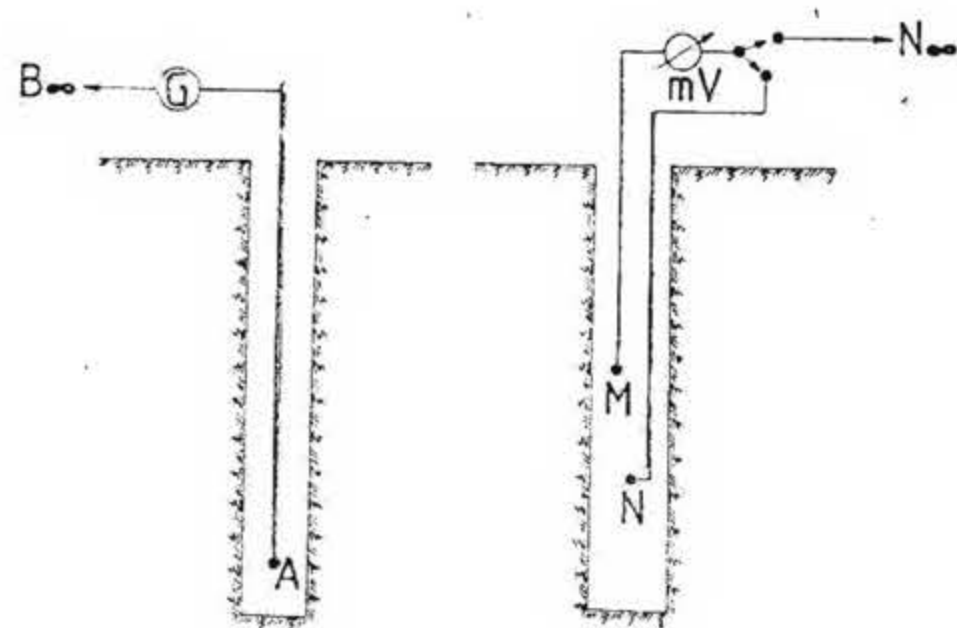


Fig. XIII. 7. Schema principială de măsurare în varianta „sondă-sondă”.

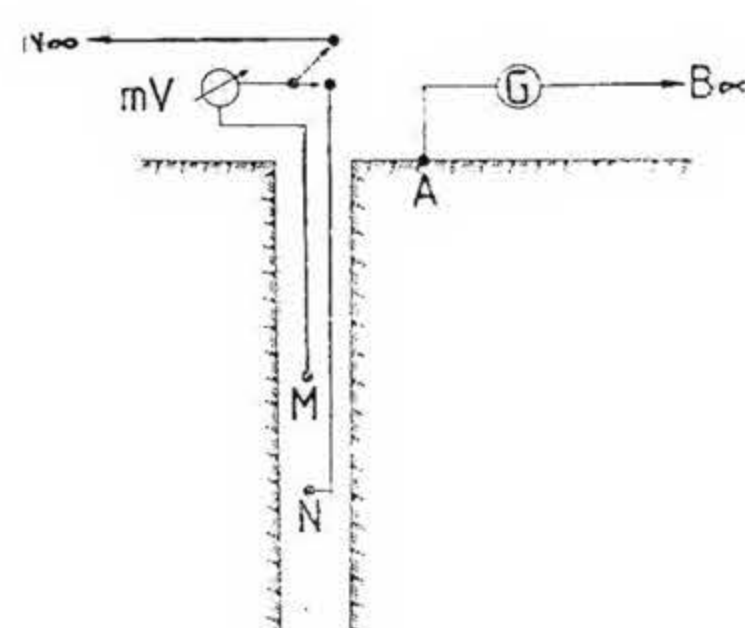


Fig. XIII. 8. Schema principială de măsurare în varianta „suprafață-sondă”.

Procedul „suprafață-sondă”. Constă în amplasarea ambilor electrozi de alimentare la suprafață: unul în imediata vecinătate a sondei în care se efectuează măsurătorile, celălalt la mare distanță (fig. XIII. 8). Pentru efectuarea lucrărilor este suficient a avea o singură sondă.

Procedeele indicate au unele limitări care derivă din particularitățile unei anumite acumulări de substanțe minerale: pe lângă mineralizația propriuzisă pot apărea și alte corpuri conductoare care corespund zonelor de tectonizare, zonelor puternic transformate hidrotermale sau șisturilor argiloase-grafitoase.

1.2. CAROTAJUL POTENȚIALELOR NATURALE SAU SPONTANE

Rocile posedă proprietatea de a crea, la contactul dintre ele și mai ales la contactul cu fluidul de foraj, un câmp electric de polarizație naturală. Potențialele electrice naturale sau spontane măsurate în sonde se datoresc următoarelor procese fizico-chimice:

- procesul de difuzie a ionilor sărurilor dizolvate în apele de strat în noroiul de foraj sau invers;
- procesul de adsorbție selectivă a ionilor de un anumit semn la suprafața particulelor de rocă sau la peretele capilarelor.

Cele două procese menționate sînt de fapt laturi ale procesului complex de difuzie-adsorbție;

- procesul de filtrație sau curgere a unui fluid (apă de strat, filtrat de noroi prin capilarele sau fisurile rocilor traversate de sondă);
- procesul de oxidare-reducere a unor compuși minerali conținuți de rocile traversate de sondă.

Pentru rocile care interesează în explorarea majorității zăcămintelor de minereuri (roci metamorfice și magmatice), procesele de difuzie-adsorbție sînt de mică intensitate, astfel încît rocile nu se diferențiază între ele. Potențialele de difuzie-adsorbție pot să devină importante atunci cînd zăcămintele de minereuri sînt găzduite de roci sedimentare sau în vecinătatea contactului rocilor sedimentare cu magmatice.

Potențialele de filtrație pot fi întîlnite în sonde în zonele fisurate și în zonele poroase-permeabile cu proprietăți colectoare. La cercetarea zăcămintelor de minereuri cu ajutorul potențialelor spontane măsurate în sonde, componenta de filtrație este considerată o componentă perturbatoare.

Cel mai mare interes pentru cercetarea zăcămintelor de minereuri prezintă potențialele naturale care iau naștere prin procese de oxidare-reducere, în fapt, procese electrochimice la limita dintre medii cu conductibilitate electronică (minereuri de cupru, polimetalice, oxizi) și medii cu conductibilitate ionică. În general, intervalele corespunzătoare unor astfel de mineralizații se caracterizează prin anomalii electropozitive pe curbele de PS.

Măsurarea PS și gradientului de PS. Schema principială de măsurare a PS este indicată în fig. XIII.9. Un electrod de măsură M se deplasează de-a lungul sondei și se înregistrează continuu diferența de potențial dintre acesta și un al doilea electrod N de potențial constant, fixat la suprafață. De obicei, curba de PS se înregistrează simultan cu curbele de rezistivitate aparentă, cînd se folosesc dispozitive bipolare.

Curba gradientului de PS se poate înregistra simultan cu curba de rezistivitate cînd se utilizează dispozitive monopolare, sau cu dispozitive separate (fig. XIII.10) la care se schimbă distanța dintre electrozii M și N . În țara noastră, la înregistrarea gradientului de PS se utilizează următoarele distanțe dintre electrozii de măsură ai dispozitivului: $MN = 0,1; 0,5; 1$ și 2 m.

1.3. CAROTAJUL POTENȚIALELOR PROVOCATE

Principial, metoda constă în măsurarea potențialelor de polarizație provocată observabile după întreruperea curentului de excitație pulsant sau semipulsant trimis în mediu.

Potențialele provocate sînt datorate proceselor electrochimice care au loc la limita mediilor cu conductibilitate electronică și ionică și la limita mediilor cu conductibilitate ionică și dielectrice. Intensitatea polarizației provocate se caracterizează prin mărimea

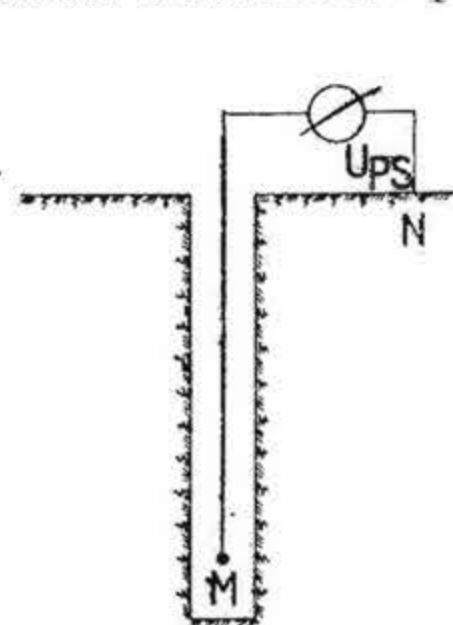


Fig. XIII.9. Schema principală de măsurare a PS.

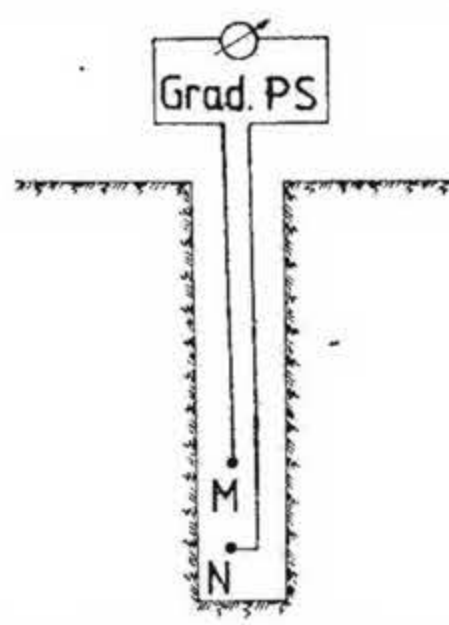


Fig. XIII.10. Schema principală de măsurare a gradientului de PS.

numită *polarizabilitate*. Polarizabilitatea rocilor depinde de porozitate, umiditate, concentrația sărurilor dizolvate în apa din pori, conținutul în minerale conductoare, dimensiunile particulelor de rocă. În absența mineralelor conductoare polarizabilitatea este mică nedepășind 1–2%.

Mineralele cu conductibilitate electronică prezente în rocă modifică în mod esențial polarizabilitatea. S-a constatat, de exemplu, că sulfuri disperse, chiar în proporție de 1% din volumul rocii, determină creșterea polarizabilității la 2–3%.

Carotajul potențialelor provocate poate fi aplicat în două variante:

a) măsurători cu folosirea unei sonde (electrozii de polarizare și de recepție în aceeași sondă);

b) măsurători cu folosirea a două sonde (electrodul de alimentare fixat într-o sondă și electrozii de recepție deplasați în altă sondă).

Carotajul potențialelor provocate s-a dovedit util în evidențierea și localizarea zăcămintelor de minereuri diseminate și masive, corelarea zonelor de minereu (mai ales în cazul mineralizațiilor de impregnație) întâlnite în mai multe sonde, cercetarea mediului geologic dintre sonde.

1.4. CAROTAJUL RADIOACTIV

Metodele de carotaj radioactiv ocupă în prezent un loc important în investigarea sondelor săpate pentru substanțe minerale utile solide, furnizând informații care nu se pot obține cu alte metode de cercetare a sondelor.

1.4.1. CAROTAJUL RADIAȚIEI GAMA NATURALE

Constă în măsurarea variației radioactivității naturale a rocilor condiționată de conținutul în radioelemente aparținând seriilor radioactive ale uraniului (${}_{92}\text{U}^{235}$, ${}_{92}\text{U}^{238}$)

thoriului (${}_{90}\text{Th}^{232}$) precum și izotopul iradioactiv al potasiului (${}_{19}\text{K}^{40}$). O contribuție mai mică o au rubidiul și câteva elemente din seria pământurilor rare.

Radiațiile gama emise de radioelementele naturale diferă atât ca număr cât și ca energie caracteristică. Spectrul energetic permite identificarea, cu mare precizie, a elementului existent în rocă.

În funcție de tipul lor, radioactivitatea naturală a rocilor variază în limite largi. Dintre rocile magmatice, cele acide au cea mai mare radioactivitate, în timp ce rocile bazice și ultrabazice au un nivel mai scăzut de radioactivitate. Rocile sedimentare prezintă radioactivități variabile. Gresile și nisipurile au radioactivități foarte scăzute în timp ce argilele prezintă radioactivități mari datorită atât conținutului în potasiu cât și adsorbției radioelementelor din apele mineralizate. Foarte radioactive sînt argilele bituminose datorită afinității preferențiale a radioelementelor față de coloizii organici. Rocile carbonatice (calacre și dolomite) au o radioactivitate scăzută.

Cărbunii și depozitele hidrochimice (gips, anhidrit, sare) au cea mai mică radioactivitate. Dintre depozitele hidrochimice fac excepție sărurile de potasiu (silvină, carnalit, kainit, polihalit, langbeinit) care prezintă radioactivități mari. De asemenea, se întâlnesc în practică strate de cărbuni radioactivi.

Schema principală de măsură a carotajului gama este prezentată în fig. XIII.11. În aparatul de sondă se plasează un detector de radiații gama (D), care poate fi de tip Geiger-Müller sau de scintilație, și se înregistrează variația radioactivității în profilul traversat.

Carotajul gama servește în primul rînd ca metodă de diferențiere litologică a rocilor și de corelare la scară locală sau regională.

În sondele săpate pentru minereuri, carotajul gama asigură, pe de o parte, diferențierea rocilor magmatice de cele metamorfice și sedimentare, iar pe de altă parte, în cadrul rocilor magmatice separarea rocilor acide de cele bazice și ultrabazice.

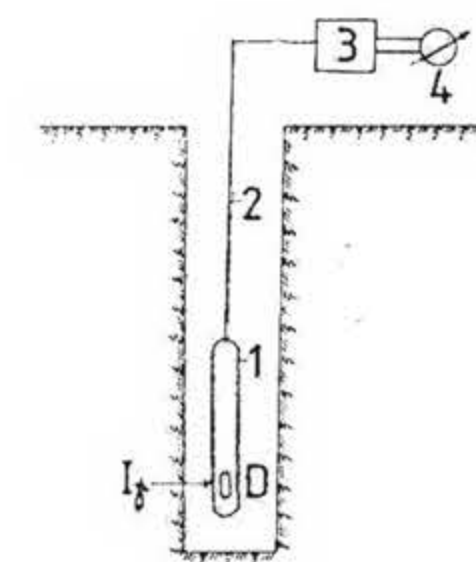


Fig. XIII.11. Schema principală de înregistrare a radiației gama naturale:

1 — dispozitivul de sondă;
2 — cablu; 3 — sistem de prelucrare a semnalului; 4 — aparat înregistrator.

1.4.2. CAROTAJUL RADIAȚIEI GAMA DISPERSATE

Metoda este cunoscută sub denumirea de *carotaj gama-gama* și constă în iradierea formațiunilor traversate cu un flux de radiații gama și înregistrarea radiației gama rezultate ca efect al interacțiunii cu mediul, așa-numita *radiație gama dispersată*.

Radiația gama rezultată este o funcție de numărul atomic Z al substanței traversate și de energia radiației gama incidente. Cînd se folosesc surse de radiații gama de energie mare ($E = 0,6 - 1,5 \text{ MeV}$), radiația gama dispersată înregistrată este o funcție de densitatea formațiunilor. De aceea, acest tip de carotaj mai este cunoscut și sub denumirea de *carotaj gama-gama de densitate*. Dacă se folosesc surse de radiații gama cu energie mică, intensitatea radiației gama înregistrate depinde în cea mai mare măsură de absorbția radiațiilor gama prin efect fotoelectric. Acest efect crește foarte mult la creșterea numărului atomic al elementelor conținute în mediu; elemente ca Bi, W, Pt, Au, Ag, Pb, Hg au o mare influență asupra răspunsului metodei. Deoarece pe această bază este posibil să se evidențieze zonele din profil cu conținut în astfel de elemente, varianta de carotaj în care

se utilizează surse gama de energie mică este cunoscută sub denumirea de *carotaj gama-gama selectiv*.

Măsurarea radiației gama dispersate în gaura de sondă este realizată cu ajutorul unui dispozitiv presat pe pereții sondei în care detectorul și sursa de radiații mai sînt separate de un ecran de plumb pentru absorbția radiației gama directe (fig. XIII.12). Sursele de radiații gama folosite sînt: Co^{60} și Cs^{137} în carotajul gama-gama de densitate și Se^{75} în carotajul gama-gama selectiv.

Carotajul gama-gama selectiv aplicat în paralel cu carotajul gama-gama de densitate poate furniza informații utile la cercetarea sondelor săpate pentru minereuri de fier, mangan, cupru, nichel, crom, wolfram, molibden și sulfuri polimetalice.

1.4.3. CAROTAJUL NEUTRON-GAMA

Carotajul neutron-gama constă în bombardarea rocilor traversate de sondă cu neutroni și măsurarea intensității radiației gama de captură a neutronilor de către anumite elemente chimice conținute în rocă.

Captura neutronilor de către atomii substanței prin care trec are loc, în majoritatea cazurilor, la energii termice ale neutronilor.

Intensitatea radiației gama de captură depinde de conținutul în hidrogen al mediului și de distanța sursă-detector (lungimea dispozitivului). Pentru dispozitivele utilizate în practică, rocile cu conținut mic în hidrogen (rocile compacte magmatice, metamorfice și sedimentare) se manifestă prin valori mari, iar rocile cu conținut mare în hidrogen (rocile poroase, fisurate saturate cu fluide, rocile argiloase, rocile alterate) prin valori mici pe curbele neutron-gama.

O importanță captură a neutronilor se constată la traversarea intervalelor cu sare. Aceasta se explică prin secțiunea mare de captură a atomului de clor pentru neutroni termici (33 barni), la care se adaugă secțiunea de captură a sodiului (0,5 barni).

Neutronii pot fi puternic captați și de rocile care conțin bor, litu, cadmiu, cobalt, mangan, vanadiu ș.a., elemente care au, de asemenea, secțiune mare de captură.

Măsurarea radiației gama de captură se realizează cu ajutorul unui aparat de sondă care cuprinde sursa de neutroni și detectorul de radiații. Cele două elemente sînt separate de un ecran de plumb (fig. XIII. 13).

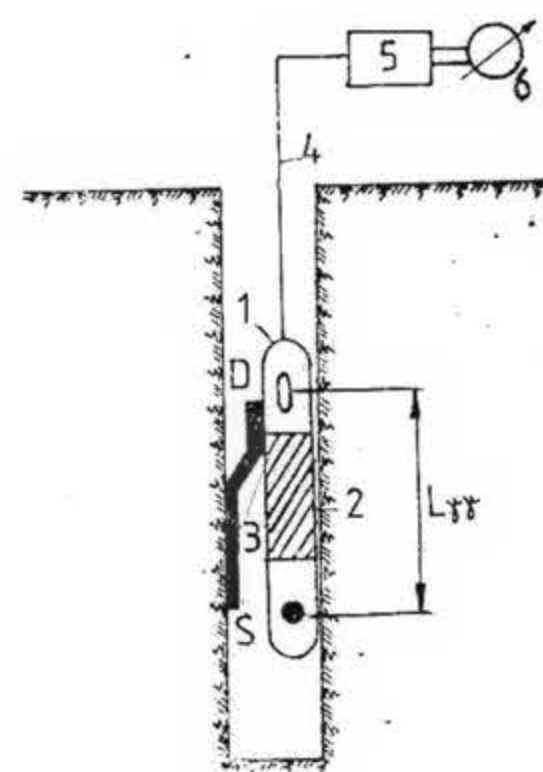


Fig. XIII.12. Schema principală a carotajului gama-gama :

1 — dispozitivul de sondă; 2 — ecran de plumb; 3 — patina de presare pe pereții sondei; 4 — cablu; 5 — sistem de prelucrare a semnalului; 6 — aparat înregistrator.

Ca surse de neutroni se folosesc :

a) *surse izotopice* — amestecuri de Ra, Po, Pu, Am cu Be. Primele joacă rol de emițători de radiații alfa cu care se bombardează beriliul, din reacția nucleară care are loc rezultând neutroni. O sursă izotopică particulară este Cf^{252} care emite neutroni prin fisiune spontană cu un flux foarte mare. Datorită fluxului mare de neutroni și foarte stabil, timpului de înjumătățire mare ($T = 265$ ani), californiul este o sursă ideală în carotajul radioactiv, mai ales în carotajul activării;

b) *generatori de neutroni*, acceleratori de particule în care producerea neutronilor are la bază reacția nucleară între izotopii grei ai hidrogenului (deuteriu și tritiu).

Folosirea generatorilor ca surse de neutroni elimină dependența mărimii măsurate de variația fluxului de neutroni al sursei, așa cum se întâmplă la sursele izotopice. În plus, generatorii de neutroni pot fi construiți să lucreze în regim de impulsuri.

Carotajul neutron-gama rezolvă problema separării rocilor din profilul sondei după conținutul lor în hidrogen, fiind o măsură a porozității totale a rocilor.

Se aplică la cercetarea sondelor de minereuri, cărbuni și săruri minerale; înregistrarea spectrului radiației gama de captură dă posibilitatea utilizării metodei pentru determinarea și evaluarea diferitelor tipuri de minerale utile.

1.4.4. CAROTAJUL NEUTRON-NEUTRONIC

Carotajul neutron-neutronic constă în bombardarea formațiunilor traversate de sondă cu neutroni și înregistrarea neutronilor, cu un anumit nivel de energie, care ajung la detector.

În funcție de energia neutronilor înregistrați se disting două variante ale carotajului neutron-neutronic :

- carotajul neutron-neutronic cu neutroni termici;
- carotajul neutron-neutronic cu neutroni epitermici (supratermici).

În carotajul neutron-neutronic cu neutroni termici se înregistrează neutronii ajunși la energie termică în interacțiunea cu mediul. Densitatea de neutroni termici este determinată de conținutul în hidrogen al formațiunii, mineralizarea apelor de strat, în special conținutul în clor și alte elemente care se comportă ca absorbanți puternici pentru neutroni termici.

Răspunsul carotajului neutron-neutronic cu neutroni epitermici este condiționat îndeosebi de conținutul în hidrogen al mediului și nu depinde practic de mineralizarea apelor de strat. Astfel, carotajul nn-e oferă o cale deosebit de favorabilă pentru evaluarea cantitativă a porozității rocilor.

Densitatea fluxului de neutroni epitermici poate fi influențată de proprietățile de captură ale mediului numai în cazul când acesta conține elemente cu secțiune mare de captură în domeniul energiilor supratermice cum ar fi : Li, B, Mn, Co, Ag, Cs, Ir, Au, Hg ș.a..

Măsurarea fluxului de neutroni termici și epitermici se realizează prin introducerea în sondă a unui dispozitiv în care se plasează sursa (S) și detectorul de neutroni (D) (fig. XIII. 14). În carotajul neutron-neutronic, ca detectori de neutroni se folosesc contori cu gaz (contori proporționali) sau contori cu scintilații. Ambele tipuri de contori conțin bor.

La cercetarea sondelor de explorare a substanțelor minerale utile solide, carotajul neutron-neutronic este inclus în programele de investigare pentru minereuri, în special pentru cele cu elemente cu secțiune mare de captură, cărbuni și săruri minerale.

1.4.5. CAROTAJUL FOTONEUTRONIC

Carotajul fotoneutronic, denumit și *carotaj gama-neutronic* constă în bombardarea rocilor cu radiații gama și măsurarea densității neutronilor care se produc în roci în urma interacțiunii radiației gama cu anumite elemente. Reacția fotoneutronică are loc numai

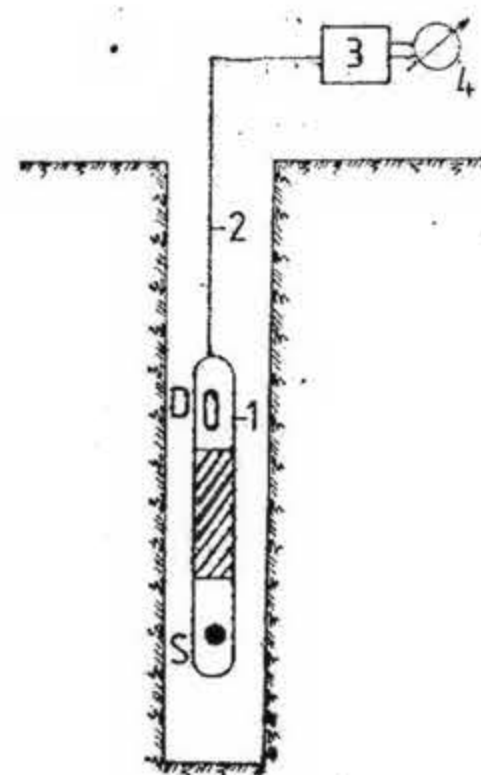


Fig. XIII.13. Schema principală a carotajului neutron-gama :

1 — dispozitivul de sondă;
2 — cablu; 3 — sistem de prelucrare a semnalului;
4 — aparat înregistrator.

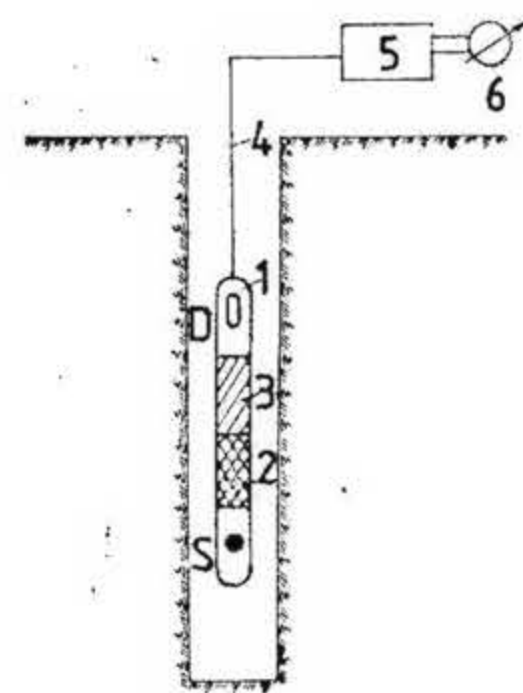


Fig. XIII.14. Schema principală a carotajului neutron-neutronic :

1 — dispozitivul de sondă; 2 — ecran de plumb; 3 — ecran pentru neutroni; 4 — cablu; 5 — sistem de prelucrare a semnalului; 6 — aparat înregistrator.

dacă energia cuantelor gama depășește energia de prag, numeric egală cu energia de legătură a neutronilor în nucleu. Pentru majoritatea elementelor energia de prag este cuprinsă în domeniul 8 — 16 MeV, cu excepția beriliului și deuteriului care au energii de prag relativ mici, egale, respectiv cu 1,63 și 2,23 MeV.

În practică, metoda este utilizată pentru detectarea și evaluarea beriliului din roci.

Aparatul de sondă este analog cu cel utilizat pentru carotajul gama-gama, cu deosebirea că se utilizează detector de neutroni. Ca sursă de radiații gama se folosește Sb^{124} .

Metoda s-a dovedit a fi foarte sensibilă, chiar la conținuturi relativ mici ale beriliului în roci.

1.4.6. CAROTAJUL ACTIVĂRII NEUTRONICE

Carotajul activării neutronice are la bază fenomenul că la bombardarea rocilor traversate cu un flux de neutroni, anumite elemente care intră în compoziția rocilor și mineralelor devin radioactive, se activează. Ceea ce se măsoară este radiația gama emisă de nucleele radioactive formate din izotopi stabili.

Izotopii radioactivi formați în mediu la iradierea cu neutroni au un timp de înjumătățire relativ scurt, de la câteva secunde la câteva ore. Energia radiațiilor gama emise — radiația gama de activare — diferă de la un element la altul, fiind o mărime caracteristică.

Principial, dacă se cunosc timpii de înjumătățire ai izotopilor formați, intensitatea și, eventual, spectrele radiației gama emise, se pot determina elementele inițiale din care iau naștere acești izotopi. Cunoșcând elementele din mediu care au fost activate se pot trage concluzii asupra compoziției mineralogice a mediilor din profilul sondei.

Timpul de iradiere cu neutroni și momentul înregistrării radiației gama de activare trebuie să fie selectate în mod corespunzător, pentru a crea activitatea maximă posibilă a elementului căutat pe un fond cât mai mic produs de alte elemente.

Carotajul de activare neutronică se aplică în două variante de bază :

a) *carotajul activării continue*, utilizat pentru studierea elementelor din care se formează izotopi radioactivi cu timp de înjumătățire scurt ($^{13}\text{Al}^{28}$, $T = 2,27$ min; $^{23}\text{V}^{52}$, $T = 3,9$ min; $^{19}\text{F}^{20}$, $T = 12$ s) și la evaluarea conținutului elementelor cu secțiune mare de activare în roci și minerale;

b) *carotajul activării în stații (puncte)*, utilizat la studierea elementelor care dau naștere la izotopi cu timp de înjumătățire lung, de ordinul orelor ($^{25}\text{Mn}^{56}$, $T = 2,6$ ore) sau la detectarea elementelor cu secțiune mică de activare.

Carotajul activării se efectuează, de regulă, pe intervale selectate din profilul sondei; alegerea acestor intervale se face după diagramele geofizice efectuate în prealabil în sondă cu alte procedee carotaj. Pe intervalele alese este necesar să se cunoască radioactivitatea naturală a rocilor, lucru posibil prin efectuarea unui carotaj gama înainte de bombardarea rocilor cu neutroni.

Metoda activării se poate utiliza fie urmărind formarea unui izotop radioactiv al elementului de cercetat, fie formarea unui alt element genetic legat de elementul căutat. Un exemplu tipic este activarea argintului pentru zăcămintele auro-argentifere, cu posibilitatea de evaluare ulterioară a aurului.

1.4.7. CAROTAJUL FLUORESCENȚEI X

Fluorescența X constituie un fenomen care oferă posibilitatea analizei elementale realizate pe probe de roci (carote), pe suprafața rocilor în aflorimente sau galerii, în sonde (carotajul fluorescenței X), în fluxul de preparare al minereurilor, în concentrate.

Metoda are la bază fenomenul de excitare a radiației X caracteristice elementului căutat; această excitare se poate produce cu ajutorul radioizotopilor care emit radiații alfa, beta, X și gama. În urma excitării atomului de către radiația primară are loc expulzarea unor electroni din stratele interioare K , L , M etc., iar locul liber va fi ocupat imediat de electronii unor strate exterioare. Tranzițiile electronice pun în joc nivele energetice bine definite și sînt însoțite de radiații secundare care se plasează în domeniul radiațiilor X. Această radiație secundară se numește de *fluorescență*, deoarece este caracterizată prin lungimi de undă mai mari decît ale radiației primare incidente. Lungimea de undă a radiațiilor X variază în funcție de numărul atomic Z al elementului emițător și constituie baza identificării precise a acestuia.

Sursele de radiații X sau gama folosite în prezent acoperă un domeniu larg de energii pentru excitarea spectrului caracteristic al multor elemente. Excitarea optimă este obținută cînd se folosește o radiație monocromatică avînd o energie imediat deasupra limitei de absorbție a elementului de analizat.

În general, pentru detectarea radiațiilor X se utilizează contoare cu scintilații, contoare proporționale și detectoare cu cristale semiconductoare, asigurând o cât mai bună rezoluție energetică.

Metoda de fluorescență X este aplicabilă pentru detectarea și evaluarea unui număr important de elemente: Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Mo, Ag, Sn, W, Au, U.

Combinarea unui sistem de fluorescență X cu un dispozitiv de carotaj gama-gama selectiv s-a dovedit utilă în practica de teren (Clayton, 1969). Prin carotajul gama-gama selectiv se identifică rapid zonele cu conținut mare în substanțe utile care pot fi apoi examinate cu o mai mare acuratețe și specificitate cu metoda fluorescenței X.

1.4.8. SPECTROMETRIA RADIAȚIILOR GAMA ÎN CAROTAJ

Spectrul energetic al radiațiilor gama naturale sau provocate în urma bombardării cu neutroni reflectă particularități individuale ale structurii atomice a elementelor care le emit, constituind unul din cele mai sigure mijloace de identificare a lor.

Spectrul de radiații gama care interesează în carotajul radioactiv este cuprins, în general, în domeniul 0—9 MeV. În acest domeniu, spectrul radiației gama naturale nu depășește 2,6 MeV, în timp ce spectrul radiației gama de captură se extinde până la valori apropiate de 9 MeV.

De un interes major în carotajul radioactiv este spectrometria radiației gama naturale care permite identificarea elementelor ce contribuie la crearea radioactivității naturale pe diferite nivele de energie și evaluarea conținutului rocilor în elemente radioactive în termeni de uraniu, thoriu sau potasiu.

În spectrul radiației gama naturale principalele radioelemente se identifică după energii caracteristice.

O atenție deosebită se acordă spectrelor radiației gama provocate la bombardarea rocilor cu neutroni, mai ales spectrului radiațiilor gama de activare datorită aplicării pe scară largă a carotajului activării la cercetarea sondelor de explorare a minereurilor de Al, Cu, Mn, V, Mg, Fe, Ni, Cr ș.a.

Deosebit de promițătoare este metoda de analiză folosind spectrometria radiațiilor X de fluorescență. Sînt menționate rezultate bune pentru Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, La, Ce (Pop și Constantinescu, 1976).

1.5. CAROTAJUL ACUSTIC

Carotajul acustic are la bază diferențierea rocilor din punct de vedere al vitezei de propagare a undelor elastice și al atenuării acestor unde cu distanța. Pe această bază, carotajul acustic se aplică în două variante:

- carotajul acustic de viteză și,
- carotajul acustic de atenuare.

La investigarea sondelor pentru substanțe minerale solide se aplică îndeosebi carotajul acustic de viteză, ale cărui principii sînt prezentate în cele ce urmează.

Măsurătorile efectuate în carotajul acustic de viteză sînt de fapt măsurători de timp. Principial, cu ajutorul unui emițător se produce în gaura de sondă o undă elastică și se înregistrează timpul necesar undei, de regulă unda longitudinală (compresională) să ajungă la un receptor situat la o anumită distanță sau să parcurgă un anumit traseu situat între doi receptori. Cel mai scurt timp de parcurs între emițător (E) și receptoare (R_1 , R_2) se înregistrează pe traiectul undei refractate la limita sondă — formațiune (fig. XIII.15). Ceea ce se măsoară este diferența timpilor de sosire ai undei compresionale la receptorul îndepărtat (R_2) și receptorul apropiat (R_1).

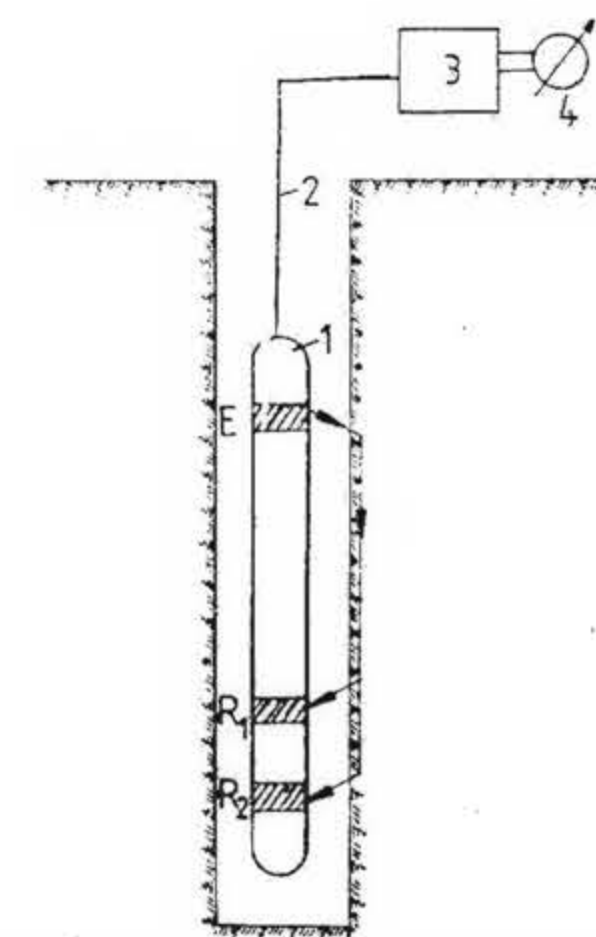


Fig. XIII.15. Schema principală a carotajului acustic:

1 — dispozitivul de sondă; 2 — cablu; 3 — blocul de prelucrare a semnalului; 4 — aparatul înregistrator.

La folosirea dispozitivelor de carotaj acustic de viteză cu două receptoare, influența drumului parcurs de unda elastică prin noroiul de foraj este eliminată. Altfel spus, natura noroiului de foraj nu are nici o influență asupra carotajului acustic.

Distanța între cele două receptoare poartă denumirea de *bază de măsură* (l) și determină rezoluția verticală a dispozitivului de carotaj acustic. Se utilizează frecvent dispozitive cu bază de măsură $l = 0,9$ m.

Semnalul măsurat în carotajul acustic de viteză obișnuit este influențat de variația diametrului găurii de sondă. Pentru a exclude complet această influență s-au introdus dispozitivele de carotaj acustic compensat.

Metoda carotajului acustic de viteză se utilizează ca mijloc de evaluare a porozității rocilor, la cercetarea sondelor de explorare a cărbunilor și sărurilor minerale (sare gemă, săruri de potasiu).

1.6. CAROTAJUL MAGNETIC

Carotajul magnetic are la bază studiul variației proprietăților magnetice ale rocilor traversate de sondă. Se aplică frecvent în două variante:

- carotajul de susceptibilitate magnetică și,
- carotajul de câmp magnetic.

De regulă, carotajul de susceptibilitate magnetică este efectuat simultan cu carotajul de câmp magnetic. Cele două tipuri de carotaje aplicate la cercetarea sondelor de

explorare pentru minereuri pot asigura :

- caracterizarea din punct de vedere geologic a formațiunilor traversate de sondă ;
- evidențierea și localizarea diferitelor tipuri de minereuri ;
- detectarea corpurilor de minereuri intersectate de sondă sau care rămân în fașpierea sondei ori sub nivelul tălpii sondei ;
- determinarea conținutului în minerale feromagnetice în acele cazuri când între acestea și susceptibilitatea magnetică există o dependență clară.

În țara noastră se aplică cel mai mult carotajul de susceptibilitate magnetică în varianta gradient, care asigură cu precizie detectarea și delimitarea mineralizațiilor feromagnetice.

1.7. CAVERNOMETRIA

Operația de cavernometrie are rolul de a stabili variația reală a diametrului găurii de sondă în raport cu diametrul nominal al sapei, ca rezultat al acțiunii combinate a luidului de foraj, sapei și garniturii de prăjini asupra stratelor traversate. Variațiile de diametru pot fi puse în legătură cu natura litologică a formațiunilor.

Cavernometria obișnuită este efectuată cu cavernometre cu brațe expandabile, de tip patină sau tip lame elastice.

O importanță particulară în geologia minieră o are *cavernometria sonică* destinată înregistrării profilelor cavernelor în masivele de sare exploatare prin sonde, înregistrarea profilelor sondelor de diametru mare (puțuri de mină) și cavernelor de depozitare subterană formate prin dizolvare în sare.

Cavernometria sonică are la bază următorul principiu : un puls sonor este emis de la un transmițător și se înregistrează timpul necesar sunetului să atingă peretele cavernei și să fie recepționat la același traductor care acționează acum ca receptor. Timpul necesar de parcurs este o măsură a distanței până la peretele cavernei.

Dispozitivul de sondă constă dintr-un traductor plasat la capătul unui braț care se deplasează din poziție verticală în poziție orizontală, permițând emisia-recepția pulsului continuu, pe peretele sondei, de la orizontală la verticală (Dawson-Grove, 1969) (fig. XIII.16). În general, pentru o anumită poziție a traductorului se execută o citire la fiecare 4° de rotație a aparatului. Secțiunea superioară a dispozitivului conține o celulă pentru măsurarea „in situ” a vitezei sunetului în mediul în care este lansat dispozitivul. Din măsurarea timpului de parcurs și vitezei în fluid se calculează distanța de la dispozitiv la peretele cavernei.

Pentru fiecare nivel de adâncime se obține imaginea secțiunii transversale a cavernei ; prin asamblarea tuturor imaginilor se obține configurația reală a cavernei (golul de dizolvare).

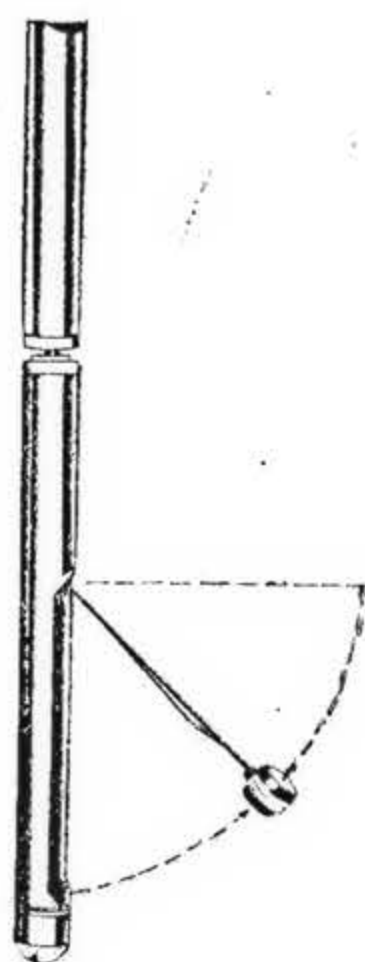


Fig. XIII.16. Schema cavernometrului sonic (după Dawson-Grove).

2. APLICAREA CAROTAJULUI GEOFIZIC PENTRU IDENTIFICAREA ȘI EVALUAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE SOLIDE

În aplicarea carotajului geofizic pentru identificarea și evaluarea substanțelor minerale solide, plecând de la condițiile geologice ale zonei de cercetat și proprietățile fizice ale minereurilor și substanțelor minerale ce prezintă interes practic, programul optim poate fi stabilit numai în urma unor lucrări experimentale în condiții de sondă. Se urmărește caracterizarea metodelor aplicate după capacitatea lor de rezoluție privind separarea principalelor tipuri de roci, evidențierea substanțelor utile, delimitarea exactă a acestora, obținerea datelor inițiale pentru caracterizarea structurii minereului și evaluarea cantitativă a conținutului în substanță utilă.

Varietatea foarte mare de minereuri și substanțe utile, precum și de condiții geologice în care acestea se întâlnesc, determină programe de investigare diferite care nu pot fi generalizate. Aceste programe de investigare trebuie să cuprindă metode care să permită pe de o parte, caracterizarea naturii principalelor tipuri de roci și, pe de altă parte, identificarea și separarea principalelor substanțe utile solide.

În cele ce urmează, vor fi date câteva exemple pe tipuri de mineralizații și substanțe.

2.1. MINERALIZAȚII DE METALE FEROASE

Din această categorie, un loc important îl ocupă minereurile de fier și mangan ; la acestea se adaugă minereurile de crom, titan, nichel, vanadiu, cobalt, molibden și wolfram.

Minereurile de fier, de mai multe tipuri, se caracterizează prin compoziție mineralogică, condiții de formare și alte particularități diferite.

Pentru identificarea și evaluarea minereurilor magnetice, datorită susceptibilității magnetice mari, procedeul de carotaj geofizic care se recomandă de la sine este carotajul magnetic de susceptibilitate, indiferent de tipul genetic al minereului. Diagrama carotajului de susceptibilitate magnetică de tip gradient-înregistrată într-o sondă de pe zăcămintul de la *Palazu Mare* (fig. XIII.17) — ilustrează, pe de o parte, delimitarea sigură a zonelor mineralizate în raport cu sisturile cristaline intercalate, iar pe de altă parte, separarea zonelor mai bogate de cele mai sărace în magnetit.

Carotajele electrice și radioactive aplicate în zonă aduc unele informații cu privire la formațiunile traversate, fără să ofere criterii sigure de identificare a mineralizației în raport cu calcarele și sisturile cristaline. Astfel, carotajul radiației gama naturale permite plasarea limitei dintre calcare și complexul cristalin prin creșterea nivelului de radioactivitate, iar zonele mineralizate mai bogate identificate pe carotajul de susceptibilitate magnetică se manifestă prin minime pe curbele carotajului gama-gama de densitate. Minimele înregistrate pe curbele de rezistivitate aparentă atît în complexul calcarelor cît și în complexul cristalin sînt de regulă asociate cu zone de fisurare-fracturare sau chiar zone de falie.

Un alt exemplu este oferit de diagrapia geofizică complexă efectuată în zona *Băișoara* (fig. XIII. 18). Mineralizațiile de fier (magnetit) sînt identificate în primul rînd pe

curbele de carotaj magnetic și se diferențiază de corpurile de sulfuri polimetalice. Rocile adiacente sînt reprezentate de calcare, banatite și skarne. Atît zonele mineralizate cu magnetit cît și cele cu sulfuri se caracterizează prin valori minime evidente pe curba gama-gama, rezistivitate mică și PS electropozitiv. PS-ul electropozitiv este caracteristic îndeosebi sulfurilor. Rezistivitatea mică și relativ constantă sugerează existența unor minereuri de tip masiv. O informație deosebit de utilă obținută din diagramele radioactive gama este limita între calcare și banatite, acestea din urmă fiind caracterizate printr-o radioactivitate ridicată.

Interpretarea complexă a diagramei geofizice înregistrate a permis să se identifice și unele zone cu mineralizație dispersă.

Minereurile de fier hematitice, limonitice și sideritice fiind slab magnetice nu pot fi evidențiate prin carotajul magnetic. În acest caz principalele metode de carotaj geofizic care se recomandă aparțin carotajului radioactiv (gama, gama-gama, neutron-gama). Cea mai bună rezoluție o are carotajul radiației gama dispersate în varianta carotajului de densitate sau selectiv aceasta se bazează pe faptul că zonele mineralizate au densitatea și numărul atomic efectiv mai mari decît rocile adiacente.

Un exemplu de localizare a unui corp sideritic în aglomerate andezitice pe baza minimului înregistrat în carotajul gama-gama de densitate este prezentat în fig. XIII.19 pentru o sondă din zona Mădăraș. Interpretarea dată este confirmată și prin minimul înregistrat pe curba radiației gama naturale și maximum pe curba neutron-gama, aceasta din urmă indicînd o zonă compactă.

În aceeași sondă, pe baza carotajului geofizic s-a putut plasa cu precizie limita între aglomeratele andezitice și calcarele inferioare; această limită este controlată pe toate curbele înregistrate (PS, gama, gama-gama și neutron-gama). În această zonă sideritele se manifestă prin maxime pe curbele de rezistivitate în raport cu aglomeratele andezitice.

Uneori intercalațiile sideritice și ankeritice, cum este cazul zăcămintelor din zona Ghelar și Teliuc, se manifestă prin minime în raport cu calcarele adiacente. În prezența

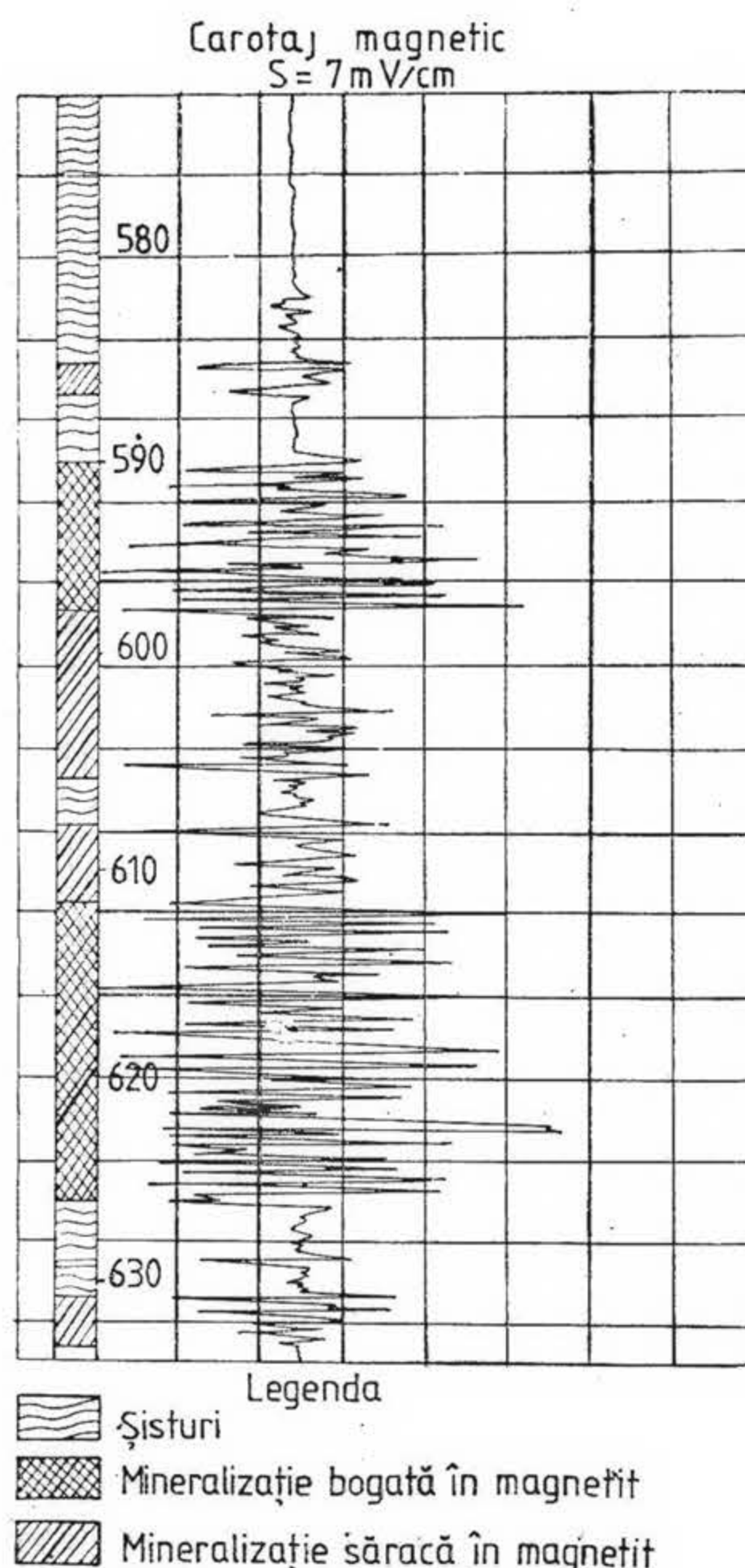


Fig. XIII.17. Carotaj magnetic într-o sondă de explorare din zona Palazu Mare-Dobrogea (după IFLGS).

magnetitei dispersate, minereurile de fier de tip carbonatic pot fi identificate prin carotajul magnetic.

Identificarea mineralizațiilor de fier poate fi făcută și pe cale indirectă, prin activarea manganului, întotdeauna întilnit în asociație cu fierul. Rezultate bune au fost obținute pe zăcămintele de tip Poiana Ruscă și tip Harghita (Iordache, 1965).

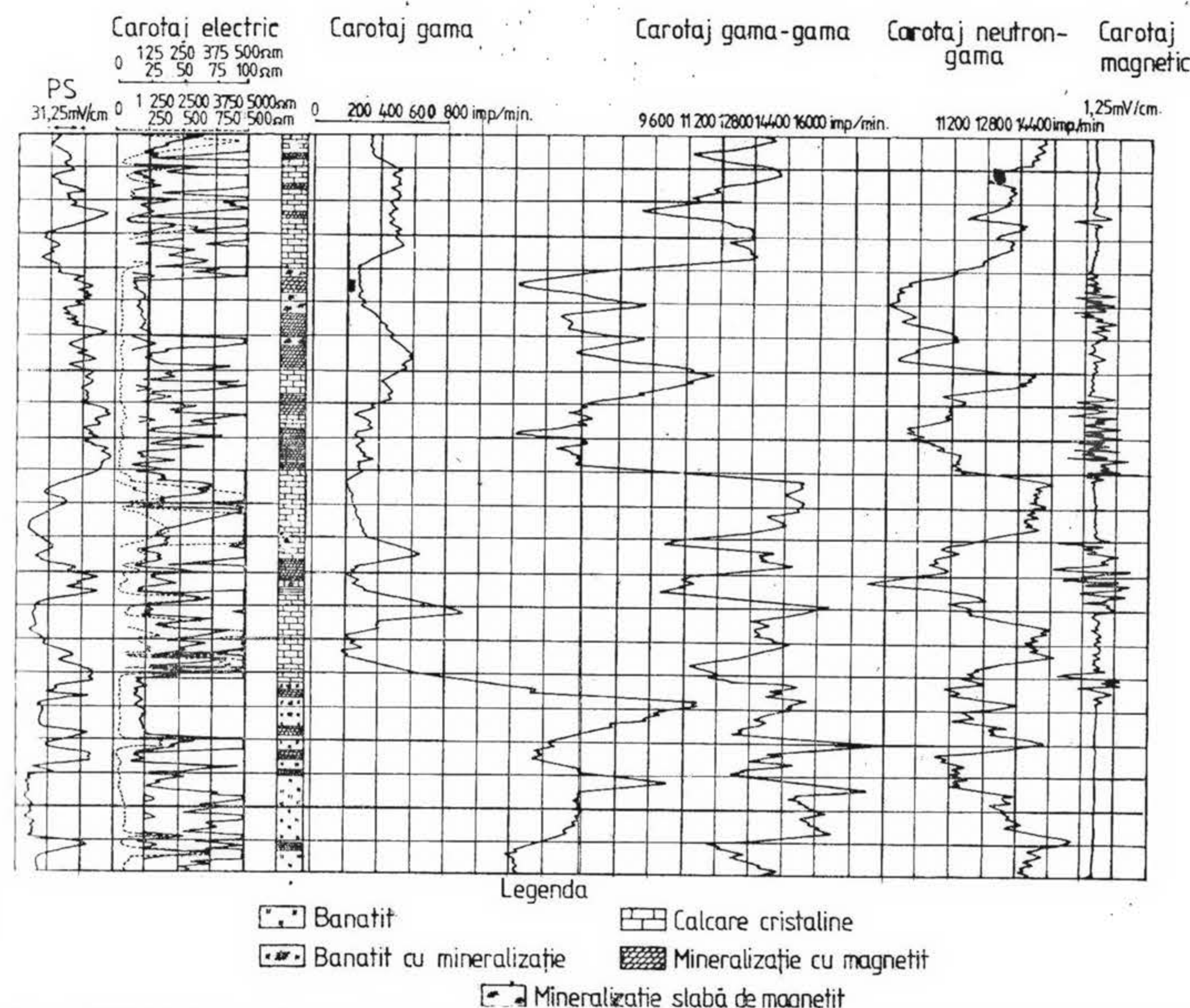


Fig. XIII.18. Diagrame geofizice complexe pentru mineralizații de fier și sulfuri în zona Băișoara (după IFLGS).

Una din problemele importante ale investigației geofizice a sondelor pentru minereuri, în general, este evaluarea conținutului în substanță utilă.

În principiu, pentru evaluarea conținutului de substanță utilă din minereu se utilizează datele acelei metode de carotaj geofizic pentru care se constată cea mai strînsă

dependență între valorile înregistrate și variația conținutului de substanță utilă. Stabilirea relației de dependență între răspunsul unei anumite metode de carotaj geofizic și conținutul în substanță utilă pentru un zăcămint, dat se face pe baza analizei unui număr reprezentativ de probe de minereu. După stabilirea curbei de dependență poate fi rezolvată problema inversă a determinării conținutului de substanță utilă pentru cazurile când se dispune numai de carotajul geofizic.

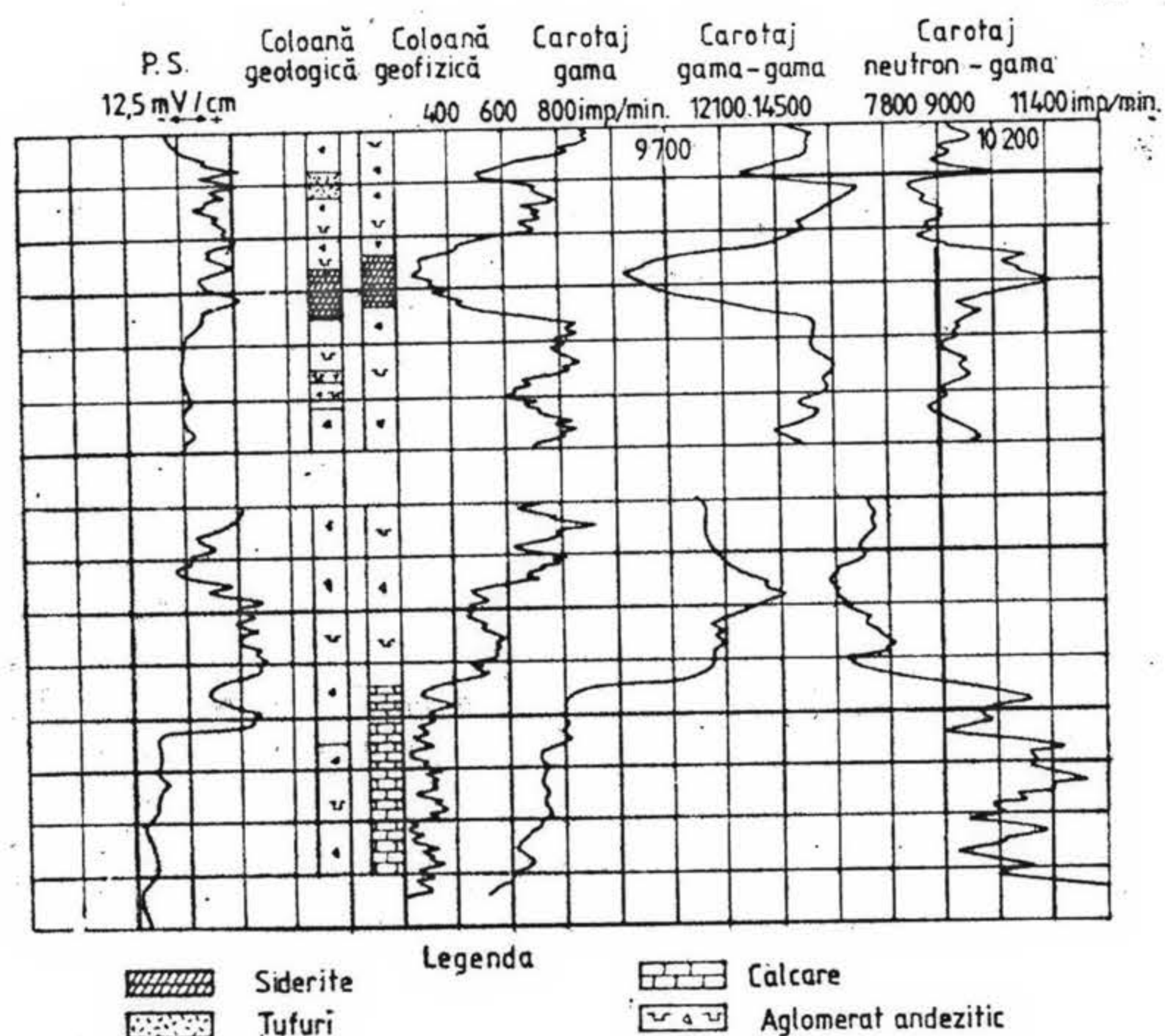


Fig. XIII.19. Localizarea corpurilor de siderite din zona Mădăraș după diagramele geofizice (după IFLGS).

Cele mai favorabile metode pentru evaluarea conținutului de fier din minereuri de orice tip sînt metodele radioactive gama-gama de densitate și selectiv, neutronice și spectrometria radiațiilor gama de captură; unele din procedeele elaborate au aplicabilitate practică limitată.

Rezultate notabile în acest sens au fost obținute de Iordache (1965) pe diferite zăcămint sau iviri de fier din țara noastră. Experiența obținută ar trebui să fie extinsă și să capete un caracter sistematic atât pentru fier cît și pentru alte substanțe minerale utile solide.

Minereuri de mangan. Evidențierea mineralizației și evaluarea conținutului cantitativ al manganului se pot face cu ajutorul carotajului neutron-neutronic cu neutroni termici și carotajului activării. Aceasta are la bază secțiunea mare de captură a manganului pentru neutroni termici și formarea izotopului radioactiv Mn^{56} ($T = 2,6$ ore) din izotopul stabil Mn^{55} , în urma reacției nucleare cu neutroni termici ${}_{25}Mn^{55}(n, \gamma){}_{25}Mn^{56}$.

Izotopul Mn^{56} poate lua naștere și prin reacția $Fe^{56}(n, p)Mn^{56}$, dar la iradierea formațiunilor cu neutroni rapizi. Un exemplu de carotaj de activare a manganului este prezentat în fig. XIII.20, într-o sondă de explorare pe zăcămintele de fier de tip Hărghita.

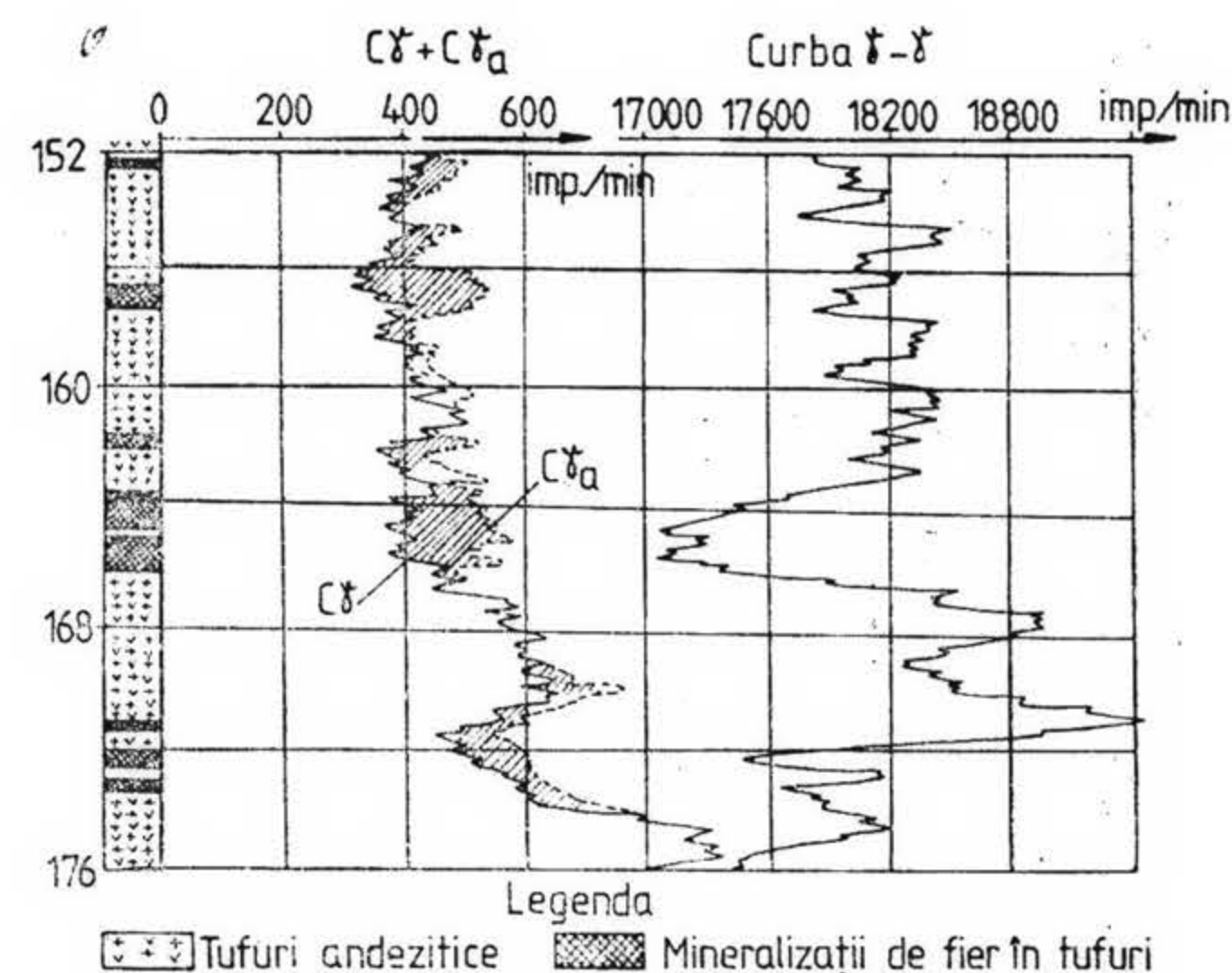


Fig. XIII.20. Carotaj de activare pentru identificarea manganului în mineralizații de fier de tip Hărghita (după Iordache).

(Iordache, 1965). Uzual, carotajul de activare pentru mangan se efectuează prin măsurători în stații. O construcție specială a dispozitivului de sondă și viteza mică de înregistrare (4–16 m/oră) au permis un carotaj de activare continuu, ca în exemplul prezentat mai sus. Aici activarea manganului a fost folosită ca metodă indirectă de identificare a zonelor cu mineralizații de fier.

Vanadiul rareori formează zăcămint propriu zise. Se poate întâlni în asociație cu rocile bazice (magnetite titanifere legate de gabrouri) și ultrabazice, în produse de alterare chimică (argile, bauxite, fosfați, limonit) și în zonele de oxidare ale minereurilor de plumb, zinc și cupru (Petrulian, 1973). În multe cazuri este asociat cu minereurile de uraniu (carnotita).

În sonde, prezența vanadiului poate fi pusă în evidență prin carotajul de activare continuu, izotopul radioactiv obținut (${}_{23}V^{52}$) avînd timp de înjumătățire scurt ($T = 3,9$ min).

În țara noastră, carotajul de activare pentru vanadiu a fost aplicat pentru identificarea unor zone de îmbogățire în șisturile bituminoase de la Anina.

Mineralizațiile de crom pot fi identificate printr-un complex de metode radiometrice constând din: carotaj neutron-gama spectral, carotaj neutron-neutronic cu neutroni supra-termici, carotaj gama-gama de densitate și selectiv (Feldman, et al, 1974) care permite separarea univocă a minereurilor de cromite, diferențierea lor pe tipuri și evaluarea principalilor componenți și caracterizarea litologică generală a profilelor traversate. Un exemplu de acest fel este prezentat în fig. XIII.21.

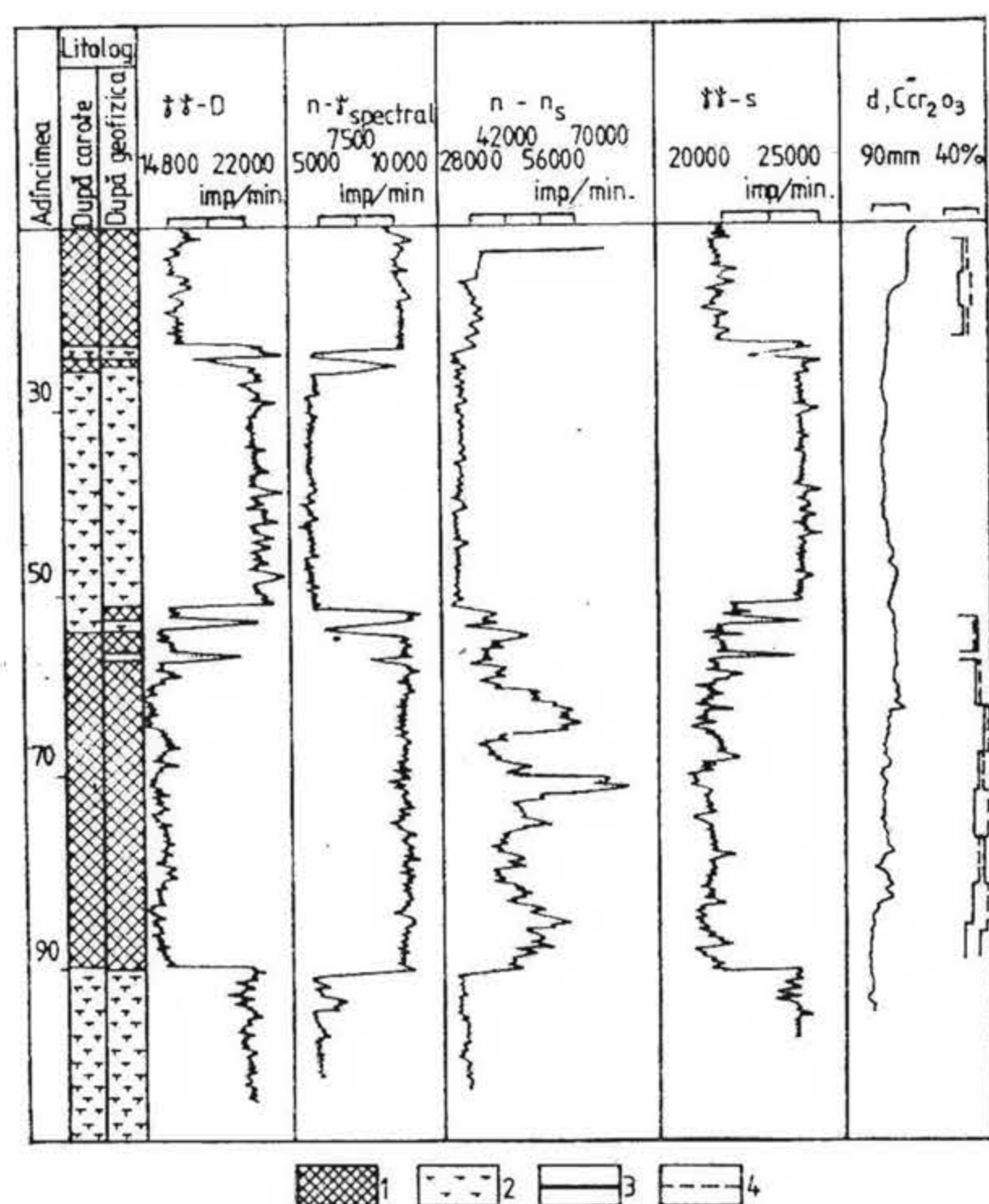


Fig. XIII.21. Separarea și evaluarea cromitelor cu ajutorul unui complex de carotaje radioactive (după Feldman et al.).

Mineralizațiile de nichel pot fi identificate prin carotaj gama spectral cu o „fereastră” energetică corespunzătoare acestui element. Separarea univocă a zonelor cu minereu de nichel este legată de diferențierea spectrelor Ni și Fe în domeniul energiilor mari ale radiației gama de captură (Alexeev et al., 1968).

2.2. MINERALIZAȚII DE METALE NEFEROASE ȘI AURO-ARGENTIFERE

Mineralizațiile de metale neferoase, în particular, de cupru, plumb și zinc se întâlnesc mai ales sub formă de sulfuri cu caracter polimetalic. O caracteristică importantă ce trebuie luată în considerare la aplicarea metodelor de carotaj geofizic este aceea că multe minereuri ale metalelor neferoase (pirită cuprifera, calcopirită) au o rezistivitate foarte mică, legată de conductibilitatea lor electronică. În funcție de tipul minereului, rezistivitatea poate fi mai mare sau mai mică. Astfel, minereurile metalelor neferoase de tip masiv, filonian sau agregate bogate au rezistivitate foarte mică, în timp ce minereurile diseminate, toate minereurile oxidate, minereurile de zinc și minereurile cu conținut mic în substanță utilă au o rezistivitate relativ mare.

Dacă primele tipuri de minereuri pot fi identificate prin metode electrice (rezistivitate, PS), pentru cele din al doilea grup se recomandă aplicarea metodelor radioactive și, în particular, carotajul gama-gama de densitate și gama-gama selectiv.

În exemplul din fig. XIII.18 caracteristicile zonelor cu sulfuri sînt valorile electropozitive pe curba de PS, rezistivitatea mică și valorile mici pe curba gama-gama de densitate.

Carotajul gama-gama de densitate a fost aplicat cu succes în evaluarea concentrației de zinc din minereu sub formă de sulfuri într-o matrice de calcar și a conținutului total de plumb și zinc în anumite zone ale aceluiași zăcămint (Donhoffer, 1969). Zonele cu minereu au fost evidențiate printr-o descreștere semnificativă a intensității relative (raportul între valorile înregistrate în zona de minereu la valorile înregistrate în intervalele din sondă cu roca de bază). Pe baza curbelor de calibrare s-a determinat concentrația în zinc sau în plumb și zinc; compararea valorilor obținute cu datele analizelor chimice a indicat o foarte bună corelare.

Pentru identificarea și evaluarea cuprului din minereurile cu conținut mic în metal se recomandă folosirea carotajului de activare neutronică. Sînt doi izotopi stabili ai cuprului care produc izotopi radioactivi la bombardarea cu neutroni: Cu^{65} în proporție de 31% și Cu^{63} în proporție de 69% în amestecul natural a izotopilor de cupru. Prin activare, din primul izotop stabil ia naștere izotopul radioactiv Cu^{65} cu timp de înjumătățire scurt ($T = 5,1$ min), iar din al doilea, ia naștere izotopul radioactiv Cu^{66} , cu timp de înjumătățire lung ($T = 12,8$ ore). Dacă se urmărește izotopul cu viață scurtă, carotajul de activare poate fi realizat continuu; izotopul cu viață lungă poate fi identificat prin măsurători discrete.

Minereurile de aluminiu, în particular bauxitele, pot fi localizate la explorarea prin sonde cu ajutorul carotajului de activare. La iradierea cu neutroni, izotopul stabil $^{27}_{13}Al$ trece în izotopul radioactiv $^{28}_{13}Al$ ($T = 2,27$ min) a cărui radiație gama poate fi înregistrată în mod continuu la viteză mică de deplasare a dispozitivului în sondă.

Alături de activarea aluminiului cu neutroni termici, conform reacției $^{27}_{13}Al$ (n, γ) $^{28}_{13}Al$, poate fi urmărită și activarea siliciului la bombardarea cu neutroni rapizi, în acord cu reacția nucleară: $^{28}_{14}Si$ (n, p) $^{27}_{13}Al$. Raportul Al/Si obținut pe această cale reprezintă un indicator deosebit de util pentru evaluarea calității bauxitelor.

Comparînd datele de măsurare în metoda activării cu conținutul în oxid de aluminiu din corpurile de bauxită determinat prin analize chimice, s-a găsit că între cele două mărimi există o dependență liniară.

Mineralizațiile auro-argentifere se întâlnesc adesea în asociație cu mineralizațiile polimetalice. Conținutul foarte mic de aur și argint din minereu face ca astfel de mineralizații să nu poată fi identificate direct prin metode uzuale. Metoda de bază pentru identificarea argintului și în condițiile unei etalonări corespunzătoare și evaluarea sa cantita-

tativă este carotajul de activare. Se poate activa atât izotopul ^{107}Ag , în proporție de 51,35% în amestecul natural al izotopilor de argint și secțiunea de activare de 44 barni, cât și izotopul ^{109}Ag , în proporție de 48,65%, cu secțiunea de activare de 110 barni. Izotopul rezultat în primul caz, ^{108}Ag are timp de înjumătățire de 2,3 min, iar cel rezultat în al doilea caz, ^{110}Ag , are timp de înjumătățire de 24 s, astfel încât radiația gama de activare poate fi înregistrată în mod continuu.

Aplicând o metodă de cercetare adecvată pentru detectarea argintului, zonele mineralizate în argint se vor delimita, calitativ, printr-o diferențiere netă între curba radiației gama naturale înregistrată înainte de bombardarea cu neutroni și curba radiației gama de activare (fig. XIII.22).

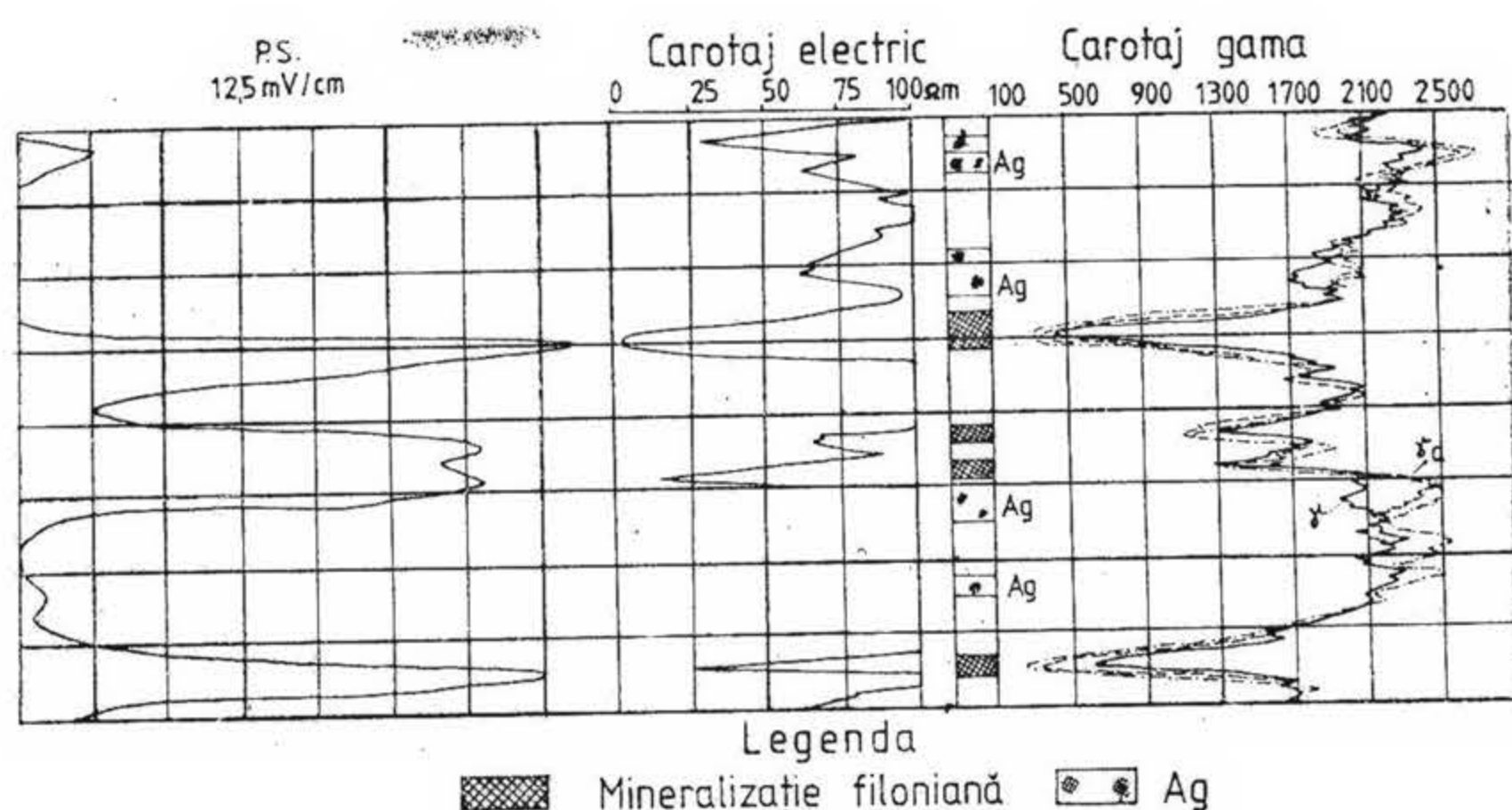


Fig. XIII.22. Exemplu de carotaj de activare pentru argint-Băiuți (după IFLGS).

Elemente de detaliu privind metoda cercetării mineralizațiilor auro-argentifere prin carotajul de activare au fost publicate de Iordache (1967).

Zonele de silicifiere și filoanele de cuarț cu care se asociază adesea mineralizațiile auro-argentifere pot fi puse în evidență cu ajutorul carotajelor de rezistivitate, gama natural și gama-gama (de densitate și selectiv).

2.3. MINERALIZAȚII DE ELEMENTE RADIOACTIVE, RARE ȘI DISPERSE

Pentru identificarea și evaluarea *in situ* a zăcămintelor de uraniu sau mineralizațiilor radioactive la explorarea prin sonde, carotajul radiației gama naturale reprezintă metoda care se indică de la sine.

La aplicarea carotajului gama pentru detectarea și evaluarea mineralizațiilor de uraniu trebuie să se țină seama de câteva particularități (Hawkins și Gearhart, 1968) și anume:

- dispozitivul de carotaj trebuie să aibă un domeniu foarte larg de răspuns, deoarece este de așteptat ca într-un corp mineralizat să se întâlnească zone cu conținuturi variabile în uraniu;
- detectorii utilizați să aibă un timp de rezoluție cât mai scurt posibil;
- în circuitul de măsură a semnalului să se conserve amplitudinea pulsurilor, proporțională cu energia radiației detectate;
- validitatea interpretării în termeni cantitativi depinde de acuratețea calibrării dispozitivelor; de regulă, această calibrare se efectuează pe modele cu concentrații comparabile cu cele din minereurile de uraniu.

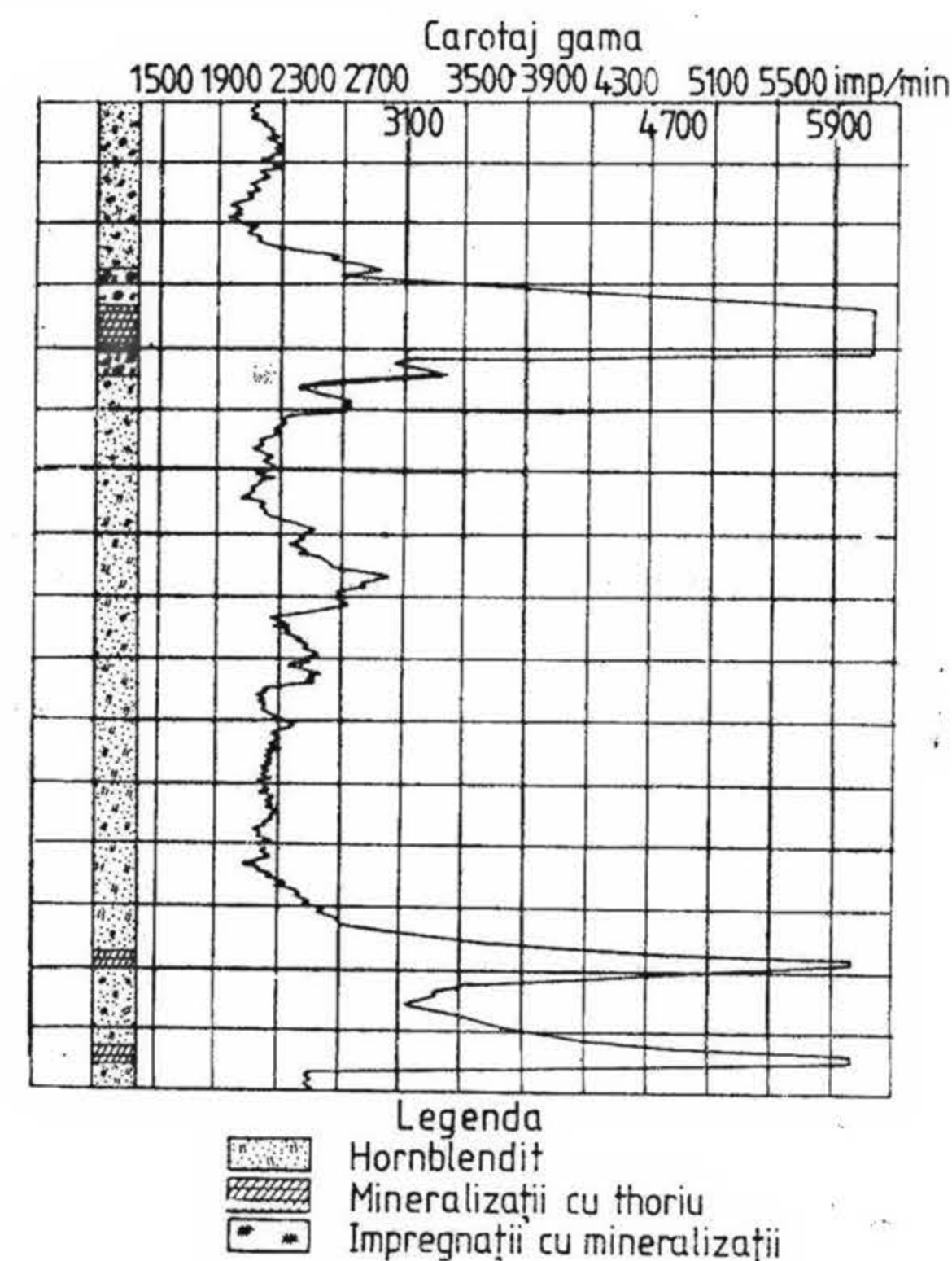


Fig. XIII.23. Carotaj gama pentru identificarea mineralizațiilor radioactive.

Identificarea și delimitarea calitativă a mineralizațiilor radioactive de uraniu și thoriu după curba gama este imediată, așa cum se poate vedea și în exemplul din fig. XIII.23.

Evaluarea conținutului de uraniu din minereu are la bază relația (Scott et al., 1961):

$$C \cdot h = k \cdot A,$$

în care: C este conținutul mediu al minereului de uraniu exprimat în procente de U_3O_8 echivalent, în greutate;

h — grosimea zonei de minereu;

k — constantă de proporționalitate determinată în urma procesului de calibrare;

A — aria închisă de curba gama.

Beriliul poate fi detectat și evaluat din punct de vedere calitativ cu ajutorul carotajului fotoneutronic. Este de menționat că au fost elaborate aparate portabile pentru prospectarea beriliului pe aflorimente și în lucrări miniere. Dispozitivele de etalonare din trusa aparatului asigură obținerea directă a conținutului de beriliu din rocă (Lövborg et al., 1969).

Metoda de activare cu radiații gama poate fi utilizată, de asemenea, pentru determinarea conținutului în **zirconiu** în minereuri zirconifere și în concentrate (Berzin et al., 1968) sau pentru determinarea simultană a conținutului de Ti și Zr în minereuri complexe titano-zirconifere, pe fondul altor elemente asociate (Sornikov, 1968).

Litiul posedă o mare secțiune de captură pentru neutroni termici (70 barni), astfel că, în principiu, se poate identifica prin minime pe curbele neutronice. În practică pot fi identificate cu suficientă precizie doar zonele îmbogățite în minerale de litiu (lepidolit, zinwaldit, spodumenul).

2.4. ACUMULĂRI DE SUBSTANȚE NEMETALIFERE ȘI ROCI UTILE

Din gama foarte largă a substanțelor nemetalifere și rocilor utile, numai o parte din ele sînt explorate prin sonde, deși sînt multe asemenea substanțe care prin proprietățile lor fizice în raport cu rocile în care sînt cantonate se evidențiază ușor pe curbele diferitelor procedee de carotaj geofizic.

Sarea gemă explorată și exploatată prin sonde poate fi identificată cu ajutorul carotajului radioactiv prin radioactivitatea sa scăzută și valori foarte ridicate ale radiației gama de captură sau fluxului de neutroni. Variațiile pe curba gama și curbele neutronice sînt puse pe seama impurităților constituite, de regulă, din argilă. Un exemplu de identificare a sării după diagramele radioactive este prezentat în fig. XIII.24.

Intervalele cu sare pot fi ușor identificate pe curbele carotajului electric cu curenți focalizați (laterolog) și pe curbele carotajului de densitate. În multe situații, curba de densitate poate să contribuie la diferențierea sării gume de anhidrit.

În evaluarea completă a oricărui zăcămint de sare gemă capătă o importanță deosebită cunoașterea raportului dintre fracțiunea solubilă și insolubilă. Pentru determinarea conținutului solubil-insolubil al sării pot fi aplicate cu succes metode indirecte care utilizează datele diagramei geofizice moderne (de densitate, acustice și neutronice). În țara noastră o evaluare de acest gen a fost efectuată de Neguț (1977) pentru sondele adînci de explorare a masivului de sare de la *Slătioarele-Argeș*. Datele integrate ale carotajelor gama, densitate și acustic au fost utilizate, de asemenea, pentru estimarea „in situ” a parametrilor elastici ai sării (modulul lui Young, coeficientul Poisson, modulul de elasticitate transversală și coeficientul de compresibilitate volumică).

Sărurile de potasiu și magneziu care prezintă interes practic sînt: silvina (KCl), carnalitul ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), langbeinitul ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), polyhalitul ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$) și kainitul ($MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$). Aceste minerale sînt radio-

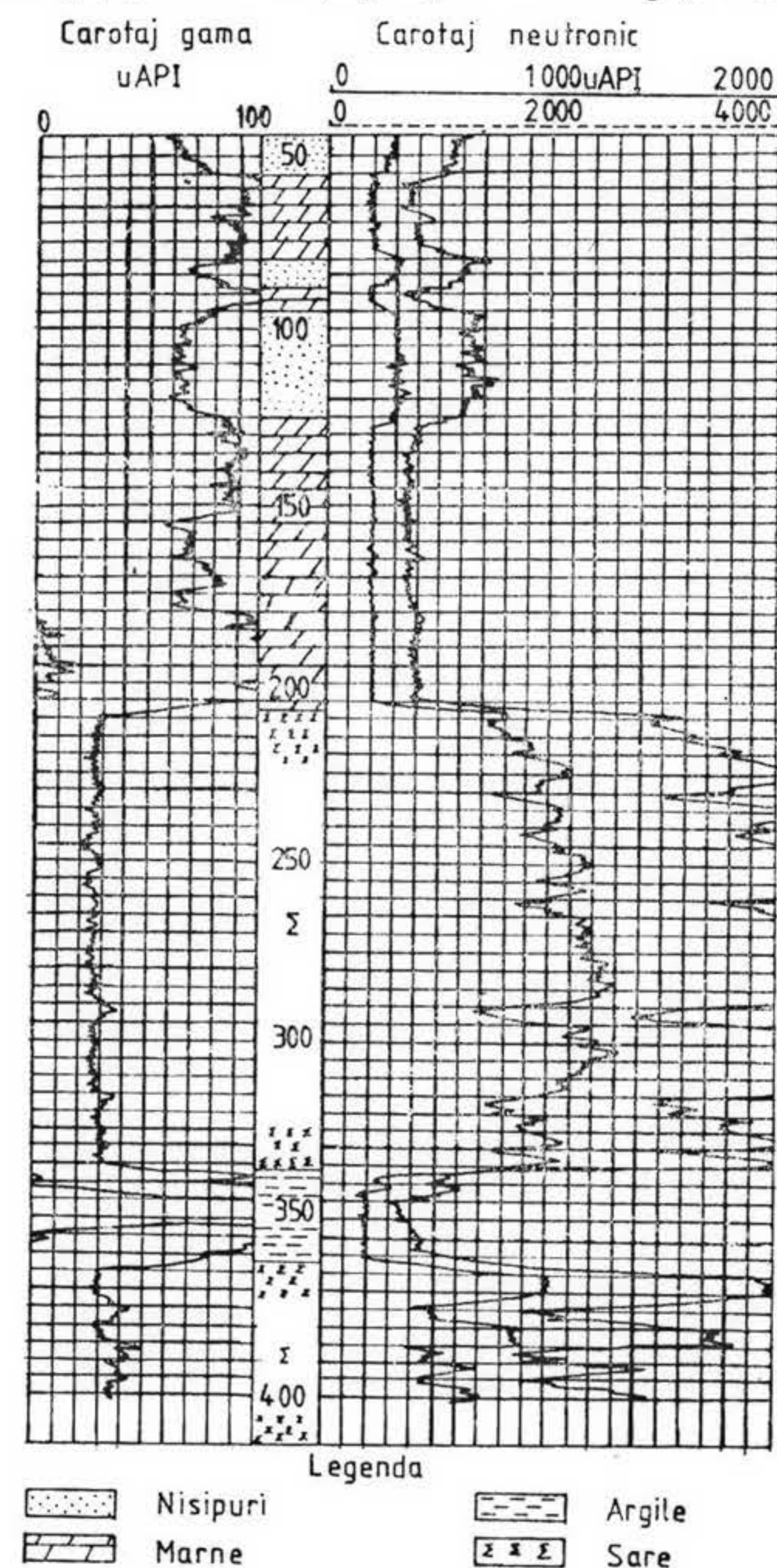


Fig. XIII.24. Identificarea sării după diagramele radioactive, *Slătioarele-Argeș*.

active, astfel că localizarea lor în profilul sondei se face cu ajutorul carotajului radiației gama naturale. O importantă detaliere poate fi făcută cu ajutorul carotajului neutron-gama, neutron-neutronic și gama-gama de densitate. Pe această bază se pot separa sărurile

de potasiu hidratate de cele fără apă de cristalizare și sărurile mai dense de cele mai puțin dense.

Uneori argilele au o radioactivitate naturală comparabilă cu a stratelor de săruri de potasiu. Diferențierea argilelor în acest caz este posibilă cu ajutorul carotajului acustic, deoarece argilele au un timp de parcurs mai mare decât amestecuri de sare gemă cu săruri de potasiu.

Un exemplu de diagrame geofizice înregistrate într-o sondă de explorare pentru săruri de potasiu din zona Cucuiești este prezentat în fig. XIII.25.

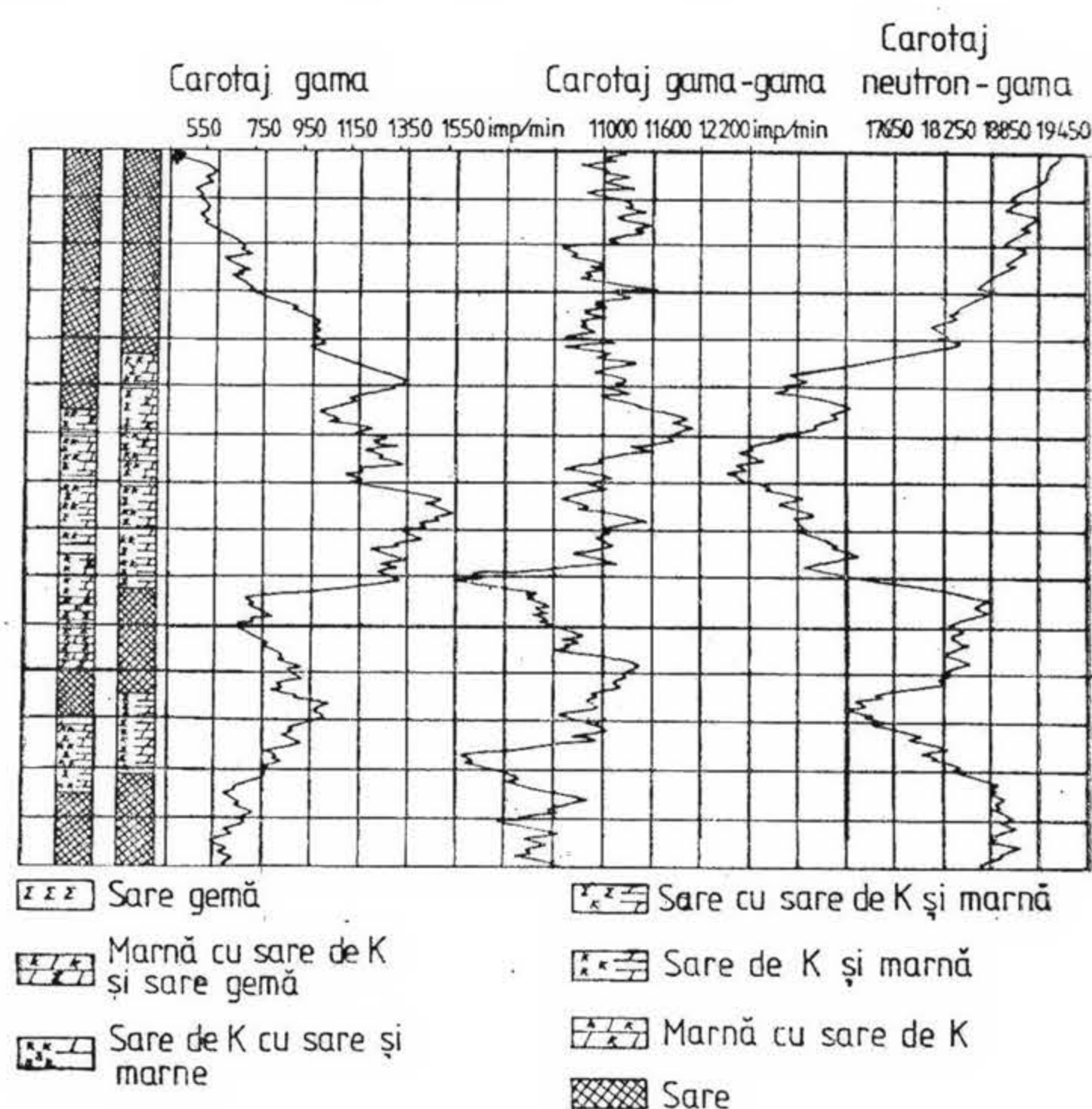


Fig. XIII.25. Identificarea zonelor cu săruri de potasiu după diagrame geofizice în zona Cucuiești (după IFLGS).

În marea majoritate a cazurilor, sărurile de potasiu se întâlnesc în amestecuri cu alte evaporite și adesea conțin impurități insolubile. Pe baza unui program complex de investigare geofizică este posibilă atât identificarea tipului minereului de potasiu și magneziu cât și determinarea cantitativă a fiecărei fracțiuni mineralogice (Tixier și Alger, 1970).

Gipsul ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) și **anhidritul** (CaSO_4) se localizează ușor cu ajutorul carotajului electric prin rezistivitatea lor foarte mare și carotajul radioactiv (gama și neutron-

gama sau neutron-neutronic). O netă diferențiere a gipsului de anhidrit se face cu ajutorul carotajului neutronic (datorită conținutului în apă de cristalizare a gipsului) și a carotajului de densitate, pe baza unui contrast de aproximativ $0,6 \text{ g/cm}^3$.

Grafitul este identificabil în primul rând prin carotajul electric — rezistivitate mică datorită conductibilității electronice și PS electropozitiv. Separarea rocilor cu grafit este asigurată dacă alături de carotajul electric se folosește și carotajul radioactiv (gama și gama-gama de densitate).

Pentru o serie de alte substanțe nemetalifere și roci utile (rocă cu sulf, baritină, fluorină, cuarțite, pegmatite cu mică, pegmatite cu feldspați, calcare, dolomită, cretă, nisipuri silicioase, argile), carotajul geofizic prin multitudinea de metode de care dispune poate întruni condiții optime de aplicabilitate, în măsura în care pentru explorare sînt utilizate sonde al căror diametru permite lansarea dispozitivelor geofizice.

În strînsă legătură cu condițiile geologice locale, aplicînd un program optim de investigare geofizică, pentru fiecare substanță nemetaliferă de interes pot fi stabilite criteriile de identificare și chiar de evaluare cantitativă.

2.5. CĂRBUNI ȘI ROCI COMBUSTIBILE

2.5.1. CĂRBUNI

Cercetarea geofizică sistematică a sondelor săpate pentru cărbuni se face în două etape:

— o cercetare cu caracter informativ pe toată sonda forată, în scopul obținerii datelor inițiale pentru corelare, separarea principalelor tipuri de roci și a stratelor de cărbuni. Scara de adîncime utilizată este, de regulă, 1 : 200 ;

— o cercetare de detaliu, în scara de adîncime 1 : 50 sau 1 : 20, pe porțiuni selectate, pentru un control suplimentar privind prezența stratelor de cărbuni, determinarea grosimii lor exacte și precizarea poziției structurale.

Cele două etape nu sînt obligatorii ; în funcție de gradul de cunoaștere geologică a regiunii de lucru și condițiile particulare ale unui zăcămint explorat, investigarea poate fi făcută cu un complex de metode corespunzător unei etape sau alteia.

Alegerea corectă a dispozitivelor de lucru sau a metodei de carotaj geofizic depinde și de grosimea stratelor de cărbuni și a rocilor intercalate.

Proprietățile fizice ale cărbunilor variază în limite largi, în funcție de gradul de carbonificare. De aceea, criteriile de identificare a stratelor de cărbuni, în general, sînt diferite, în funcție de tipul cărbunilor și rocilor adiacente.

Investigarea sondelor săpate pentru cărbuni, în cele mai dese cazuri, cel puțin pentru țara noastră, se realizează cu un complex de metode electrice și radioactive.

Cîteva exemple vor evidenția rolul carotajului geofizic în identificarea, delimitarea și evaluarea cărbunilor.

Cărbunii superiori, în particular **antracitul**, sînt identificați prin cele mai mici valori pe curbele de rezistivitate aparentă și prin valori mari, electropozitive, pe curbele de PS, așa cum se poate constata în exemplul din fig. XIII.26 pentru o sondă din zona Lupac. Rezistivitatea aparentă mică și PS-ul electropozitiv nu reprezintă însă un criteriu univoc în interpretare. Se pot întîlni situații cînd în mod analog se remarcă grafitul, rocile grafitoase și sisturile cărbunoase. De aceea, programul de investigare este completat cu

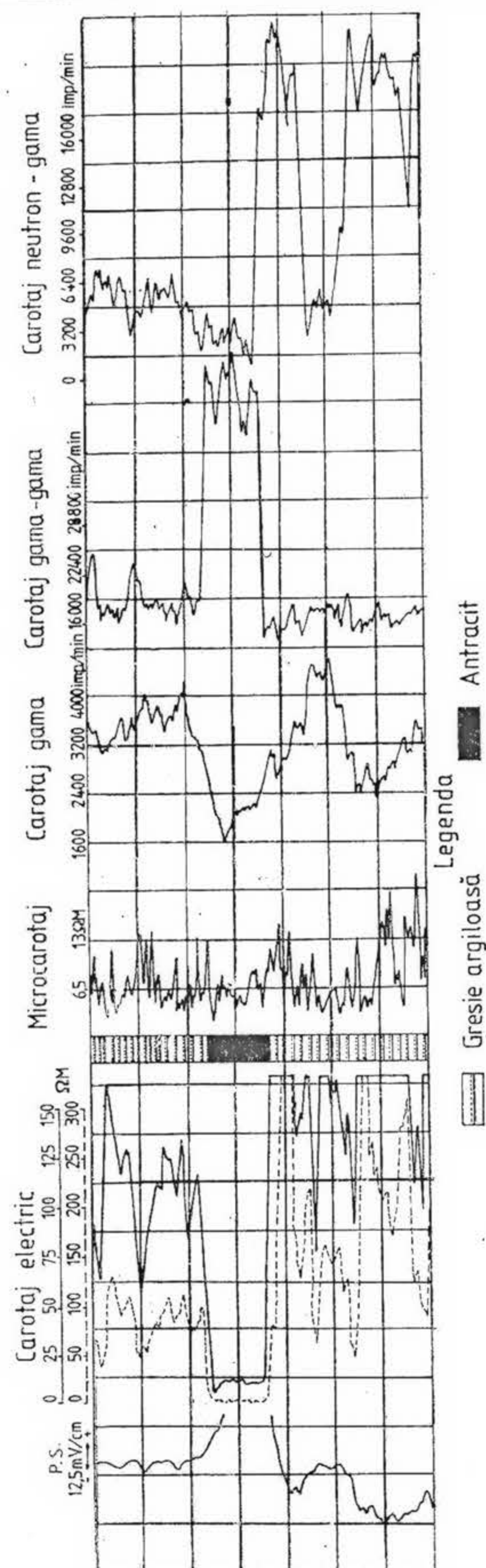


Fig. XIII.26. Diagrama geofizică complexă pentru identificarea antracitelor în zona Lupac-Anina (după IFLGS).

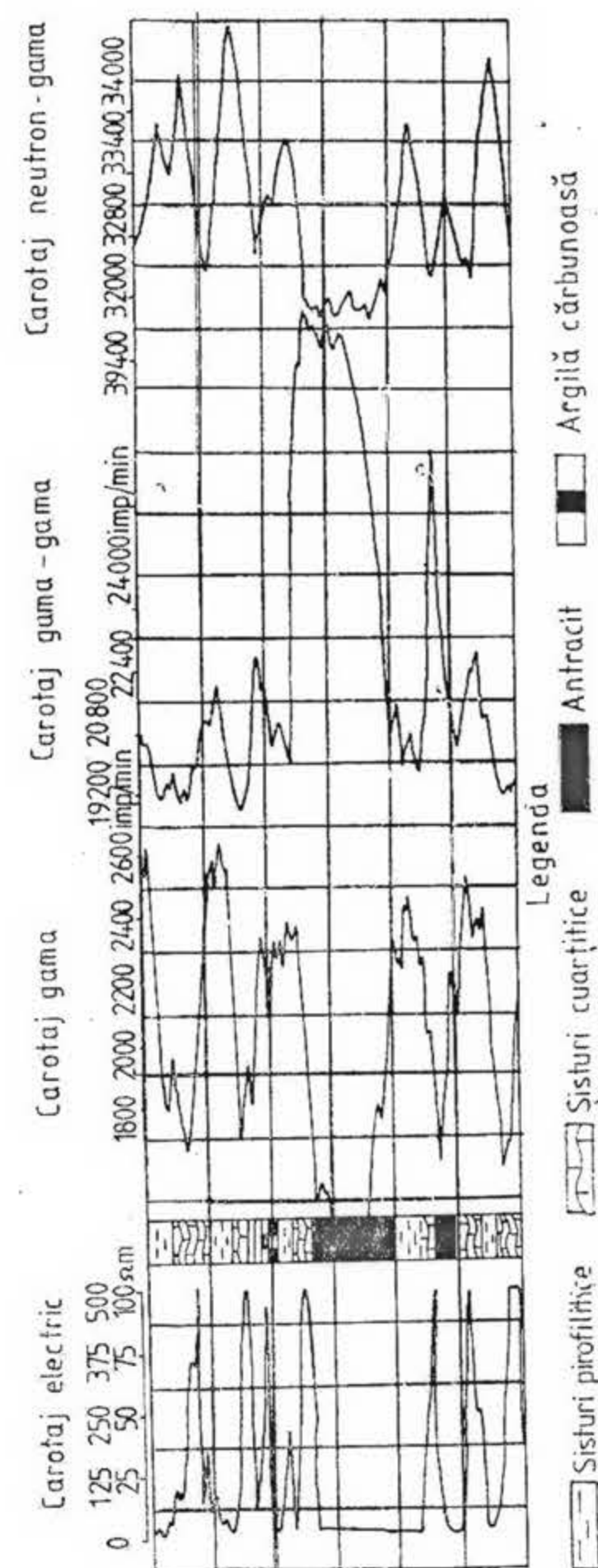


Fig. XIII.27. Identificarea antracitelor din zona Viesuroiu după diagrapia geofizică (după IFLGS).

metode de carotaj radioactiv (gama, gama-gama și neutron-gama). Antracitele se manifestă prin minime pe carotajul gama și maxime evidente pe carotajul gama-gama, datorită contrastului de densitate important (de circa $0,6 \text{ g/cm}^3$) pe care-l realizează în raport cu gresiile și gresiile argiloase adiacente. Plasarea limitelor și determinarea grosimii stratului de antracit sînt asigurate cu ajutorul curbelor de rezistivitate și gama-gama. Curba neutron-gama răspunde la conținutul în hidrogen al stratului de antracit; minimul înregistrat se explică prin apa din noroi care pătrunde în stratul de cărbune pe raza de investigație a dispozitivului utilizat.

În mod asemănător se manifestă stratele de antracit în alt context geologic, față de șisturile cuarțitice și pirofilitice adiacente, la *Viesuroiu* (fig. XIII. 27). Rezistivitatea foarte mică și constantă poate fi pusă în legătură cu omogenitatea stratului de cărbune. Se observă că în acest caz, PS-ul, deși ușor electropozitiv, nu mai este definitoriu ca în cazul precedent. Șisturile pirofilitice, deși au rezistivitate mică, se diferențiază net de stratele de cărbuni prin amplitudini mari pe curba radiației gama naturale; la rîndul lor, șisturile cuarțitice se separă de șisturile pirofilitice prin rezistivitate mare și radioactivitate scăzută.

Huilele pot fi identificate pe baza valorilor mari ale rezistivității și radiației gama dispersate. Modul de manifestare pe curba radiației gama naturale depinde de conținutul în cenușă. Huilele cu conținut mare în cenușă, ca și șisturile cărbunoase dau maxime pe curba gama, iar cele cu conținut mic în cenușă, minime. Pe curbele neutron-gama, huilele se remarcă prin minime, cu observația că amplitudinea anomaliei variază în funcție de conținutul în apă.

Cărbunii bruni și lignitul se separă relativ simplu, comparînd curbele de rezistivitate aparentă, gama, gama-gama și neutron-gama. Rezistivitatea lignitului, de regulă mai mare decît a rocilor adiacente, poate varia într-un domeniu larg în funcție de conținutul în cenușă și umiditate. Minimul de radioactivitate naturală asociat cu maximul de pe curba gama-gama de densitate reprezintă un criteriu sigur de identificare a lignitului, ca de altfel și a altor tipuri de cărbuni.

Un exemplu deosebit de sugestiv de identificare a cărbunilor după diagrapia geofizică este dat în fig. XIII.28, pentru o sondă din *Valea Jiului* (Lonea). Curbele gama-gama și de rezistivitate permit delimitarea cu mare precizie, pe de o parte a cărbunilor, iar pe de altă parte a intercalațiilor sterile. Grosimea netă a cărbunilor, după cum este cunoscut, reprezintă un parametru important pentru evaluarea corectă a rezervelor.

Deși radioactivitatea naturală scăzută a cărbunilor este o caracteristică generală, nu se poate folosi exclusiv acest criteriu, deoarece există cărbuni cu radioactivitate, uneori mai mare decît a argilelor adiacente. Cărbuni radioactivi au fost întîlniți în bazinul *Văii Jiului* (Bacîru, 1966) și pe zonele mai noi, încă în explorare, din județul *Mehedinți* (*Prunișor, Livezile, Husnicioara, Ghelmeșioara*).

În fig. XIII.29 se prezintă un exemplu de diagrapie geofizică complexă a unei sonde din zona *Prunișor*. Este de observat mai întîi că diagrapia electrică permite determinarea naturii litologice a formațiunilor traversate de sondă și separarea orizonturilor poroase-permeabile, în particular, a orizonturilor acvifere, dar nu identifică stratele de cărbuni. Carotajul radioactiv, mai ales carotajul gama-gama, identifică stratele de cărbuni prin valori foarte mari în raport cu rocile adiacente (argile, nisipuri). Carotajul radiației gama naturale a pus în evidență existența unor cărbuni radioactivi.

Pe baza celor cîteva exemple prezentate se poate deduce cu ușurință capacitatea carotajului geofizic de a indica natura litologică a formațiunilor și a identifica stratele de cărbuni; de asemenea, carotajul geofizic asigură delimitarea unor repere caracteristice, inclusiv a stratelor de cărbuni radioactivi, care s-au dovedit a fi de o importanță deosebită în realizarea sinonimiei stratelor de cărbuni și clarificarea condițiilor structurale și de

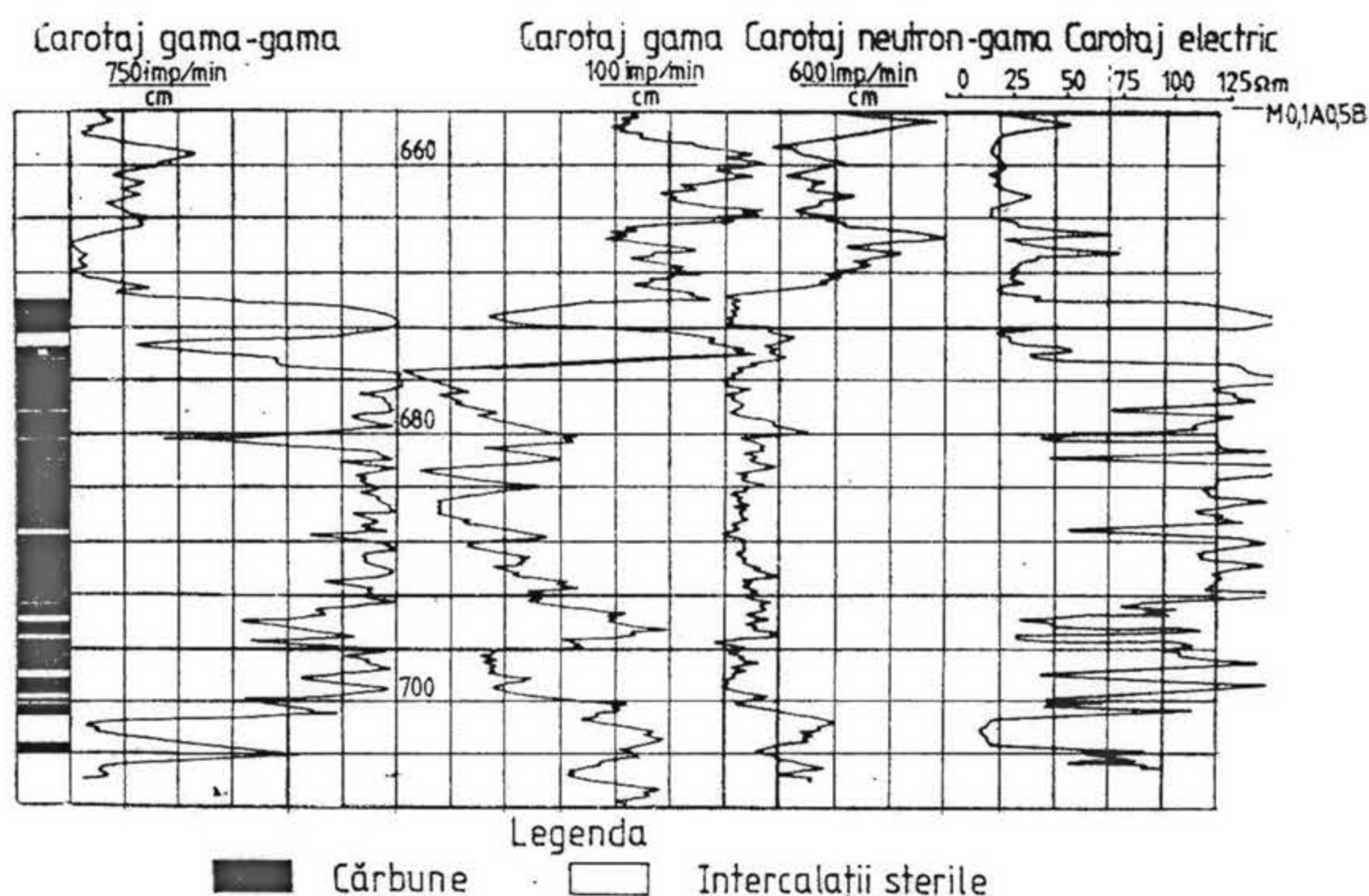


Fig. XIII.28. Diagrama geofizică complexă pentru identificarea cărbunilor în Valea Jiului (Lonea) (după IFLGS).

zăcămint, mai ales când reperele identificate au o extindere regională. Este cunoscută importanța reperului de corelare numit *reper de bază*, identificat pe diagramele radioactive în corelarea pe baze obiective a straturilor de cărbuni în bazinul Văii Jiului (Bacîru, 1966).

Carotajul geofizic asigură delimitarea în profilul traversat a formațiunilor poroase-permeabile, care în majoritatea cazurilor corespund unor orizonturi acvifere. O informație deosebit de utilă obținută din carotajul geofizic este identificarea acviferelor cu nivel liber și determinarea poziției nivelului hidrostatic. Un exemplu de acest fel se vede în fig. XIII.30, în care poziția nivelului hidrostatic este marcată printr-un salt de rezistivitate caracteristic, controlat și corelat foarte bine cu un salt de același fel pe curba neutron-gama. Deoarece un astfel de *model* poate fi asociat și unei treceri de la un orizont nisipos curat în partea superioară, la un orizont mai argilos în partea inferioară sau unei schimbări în dimensiunile granulelor de nisip, pe o zonă specifică, datele carotajului geofizic trebuie să fie completate cu determinări directe ale nivelului hidrostatic în sondele de cercetare hidrogeologică.

Implicațiile unor astfel de informații indirecte, în proiectarea și realizarea lucrărilor miniere de explorare și exploatare, sînt evidente.

Identificarea și delimitarea calitativă, precum și evaluarea cantitativă complexă a cărbunilor pot fi făcute dacă programul de investigare realizat cuprinde cele mai moderne metode de carotaj: acustic, densitate, neutron-neutronic, gama, microcarotaj, laterolog și cavernometrie. În țara noastră o astfel de evaluare a fost realizată de Negoită (1980) pentru stratele de cărbuni cuprinse într-o succesiune nisipuri-argile.

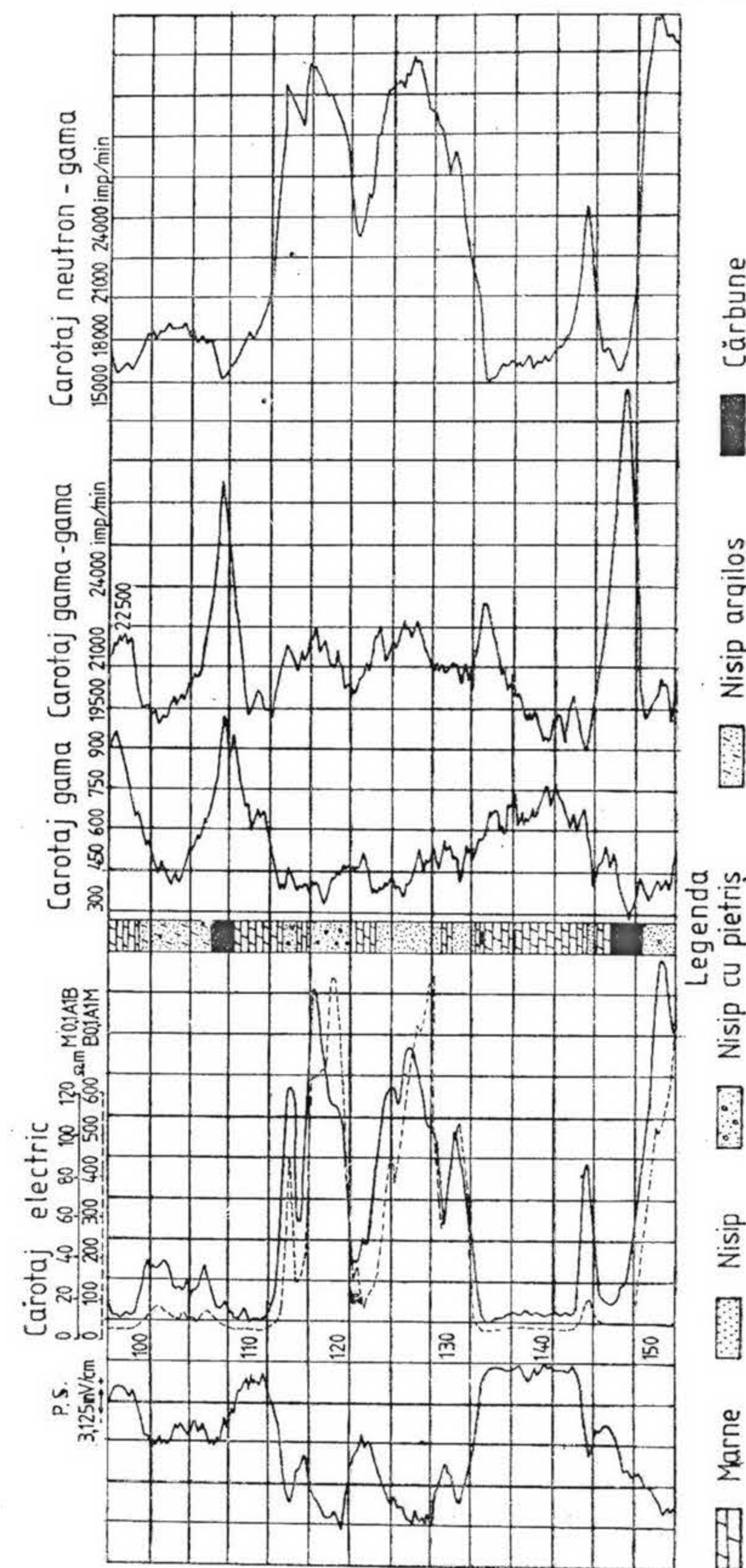


Fig. XIII.29. Diagrama geofizică complexă pentru cărbuni în zona Prunișor, jud. Mehedinți (după IFLGS).

Determinarea conținutului în cenușă al cărbunilor. Pentru aprecierea calității straturilor de cărbuni, unul dintre parametrii principali care trebuie să fie cunoscuți este conținutul în cenușă. Pentru aceasta, metoda gama-gama de densitate are cea mai largă aplicabilitate. Deoarece densitatea impurităților minerale este mai mare decât densitatea

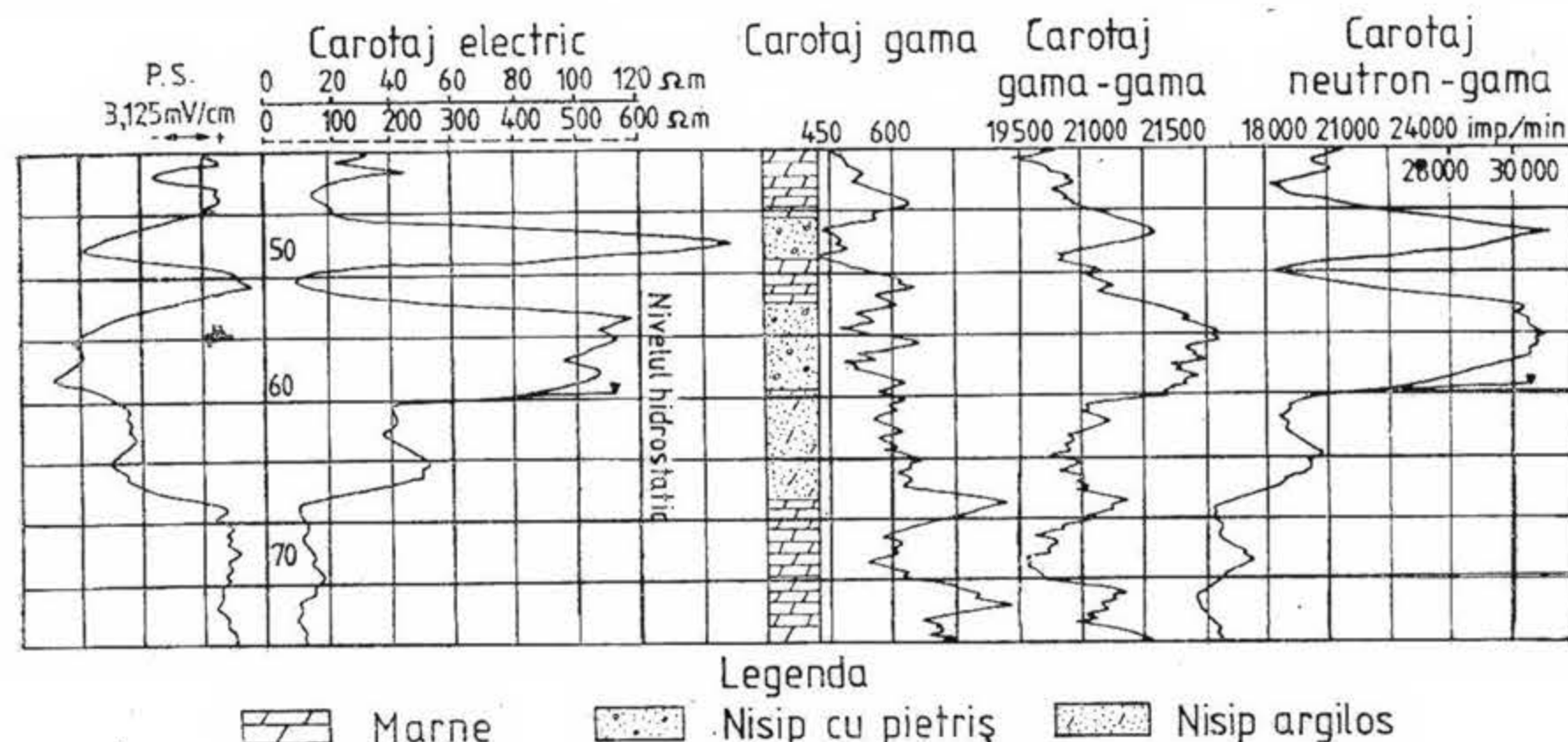


Fig. XIII.30. Exemplu de determinare a nivelului hidrostatic în acviferele cu nivel liber din zona Prunișor, după diagramele geofizice.

masei cărbunoase de orice tip, creșterea conținutului în cenușă se manifestă într-o creștere corespunzătoare a densității. Între conținutul în cenușă și densitate există o dependență aproape funcțională, liniară, de tipul celei prezentate în fig. XIII.31. Astfel, dacă se dispune de un carotaj gama-gama de densitate calibrat în unități de densitate, este posibil

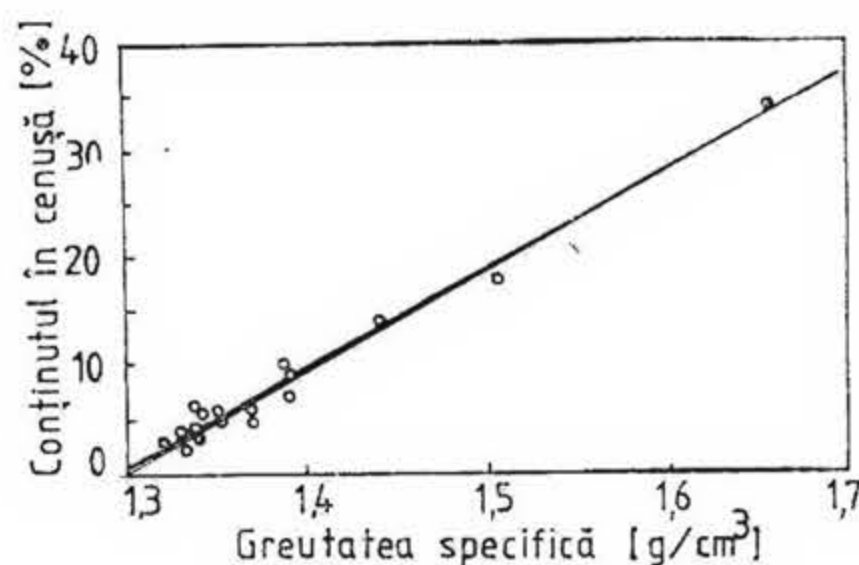


Fig. XIII.31. Dependența între densitate și conținutul în cenușă (după Tixier și Alger).

să se construiască graficul dependenței conținutului în cenușă de densitate pentru stratele în care aceasta este cunoscută prin analize de laborator. O dată determinată această dependență pentru anumite strate sau complexe carbonifere, la sondele noi, evaluarea conținutului în cenușă este imediată.

Pentru estimarea conținutului în cenușă a cărbunilor se poate utiliza, de asemenea, carotajul radiației gama naturale, plecând de la constatarea că cenușa este constituită în cea mai mare parte din argilă. Astfel, cu cât cantitatea de cenușă este mai mare, cu atât radioactivitatea cărbunilor este mai mare. O dată stabilit caracterul dependenței

dintre intensitatea radiației gama naturale și conținutul în cenușă pentru un anumit orizont sau strat de cărbune, diagramele înregistrate în sonde noi care au traversat aceste strate pot fi folosite foarte simplu la determinarea conținutului în cenușă, fără a fi nevoie de carotaj mecanic.

Problema se reduce, deci, la determinarea conținutului în argilă după curba gama. Se calculează mai întâi parametrul:

$$\Delta J_{\gamma} = \frac{I_{\gamma, x} - I_{\gamma, min}}{I_{\gamma, max} - I_{\gamma, min}},$$

unde: $I_{\gamma, max}$ este radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat de argilă;
 $I_{\gamma, min}$ — radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat fără argilă (nisipuri, gresii, calcare sau chiar strate de cărbuni);
 $I_{\gamma, x}$ — radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat cu conținut x în argilă.
 Apoi, conținutul în argilă se calculează cu relațiile:

$$C_{a, \gamma} = 0,083 (23,7 \Delta J_{\gamma} - 1,0),$$

pentru formațiuni terțiare și,

$$C_{a, \gamma} = 0,33 (22 \Delta J_{\gamma} - 1,0),$$

pentru formațiuni geologice mai vechi.

Graficul din fig. XIII. 32 rezolvă ecuațiile de mai sus

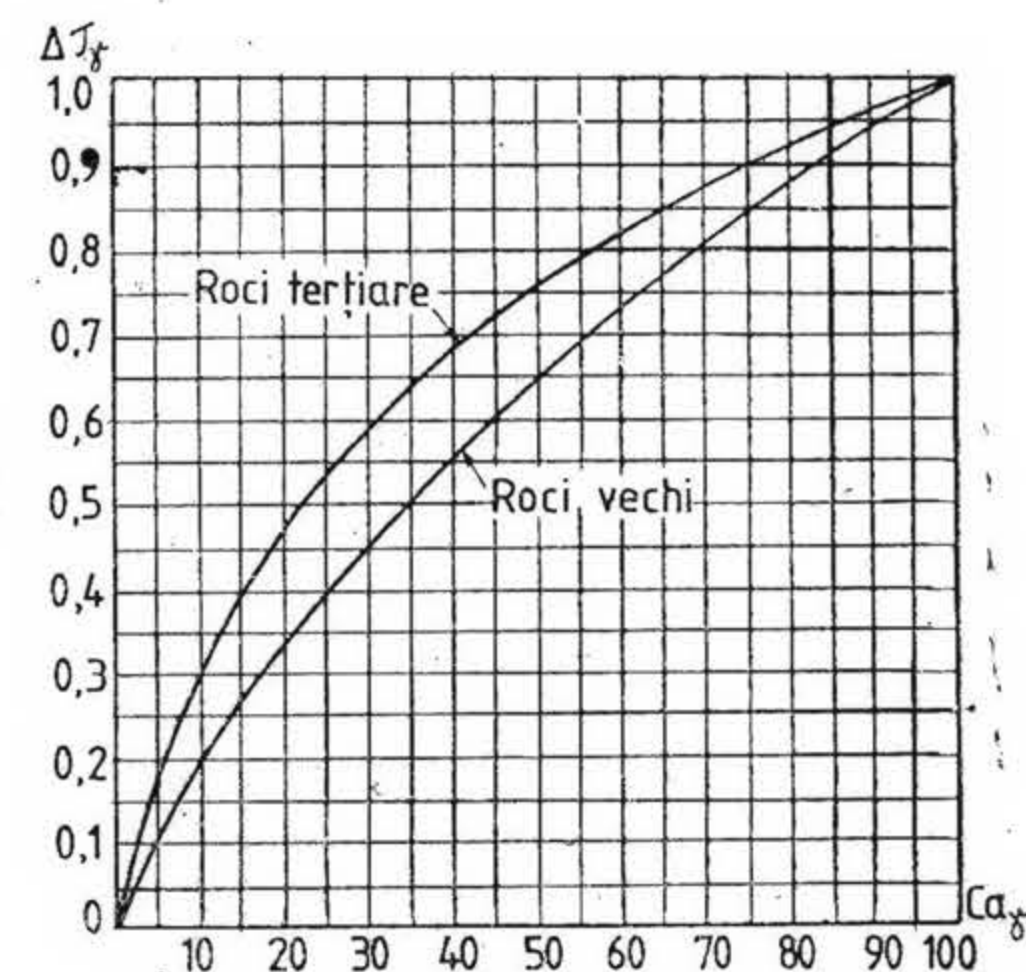


Fig. XIII.32. Graficul de determinare a conținutului în argilă după carotajul gama (după Dresser Atlas).

Procedul are două limitări și anume:

— cenușa are o compoziție complexă și, pe lângă substanța argilooasă, conține cuarț și alte formațiuni minerale depuse pe crăpăturile cărbunilor, care nu sînt radioactive;

— radioactivitatea cărbunilor este determinată nu numai de conținutul în argilă ci și de concentrarea unor substanțe radioactive în masa cărbunilor.

Totuși, această cale de determinare a conținutului în cenușă poate fi utilizată, deoarece carotajul gama intră în complexul curent de investigare a sondelor săpate pentru cărbuni.

Pentru determinarea conținutului în cenușă pot fi experimentate și aplicate și alte procedee indirecte, plecând de la datele carotajelor de rezistivitate gama-gama selectiv, neutron-gama sau de activare.

2.5.2. ȘISTURI BITUMINOASE

Carotajul geofizic este aplicat cu succes la identificarea, delimitarea și evaluarea șisturilor bituminoase. Programul de investigare este în general complex, alcătuit din carotaj electric, radioactiv (gama, gama-gama și neutronic), acustic și cavernometrie. Un exemplu dintr-o sondă de explorare din zona Anina este prezentat în fig. XIII.33.

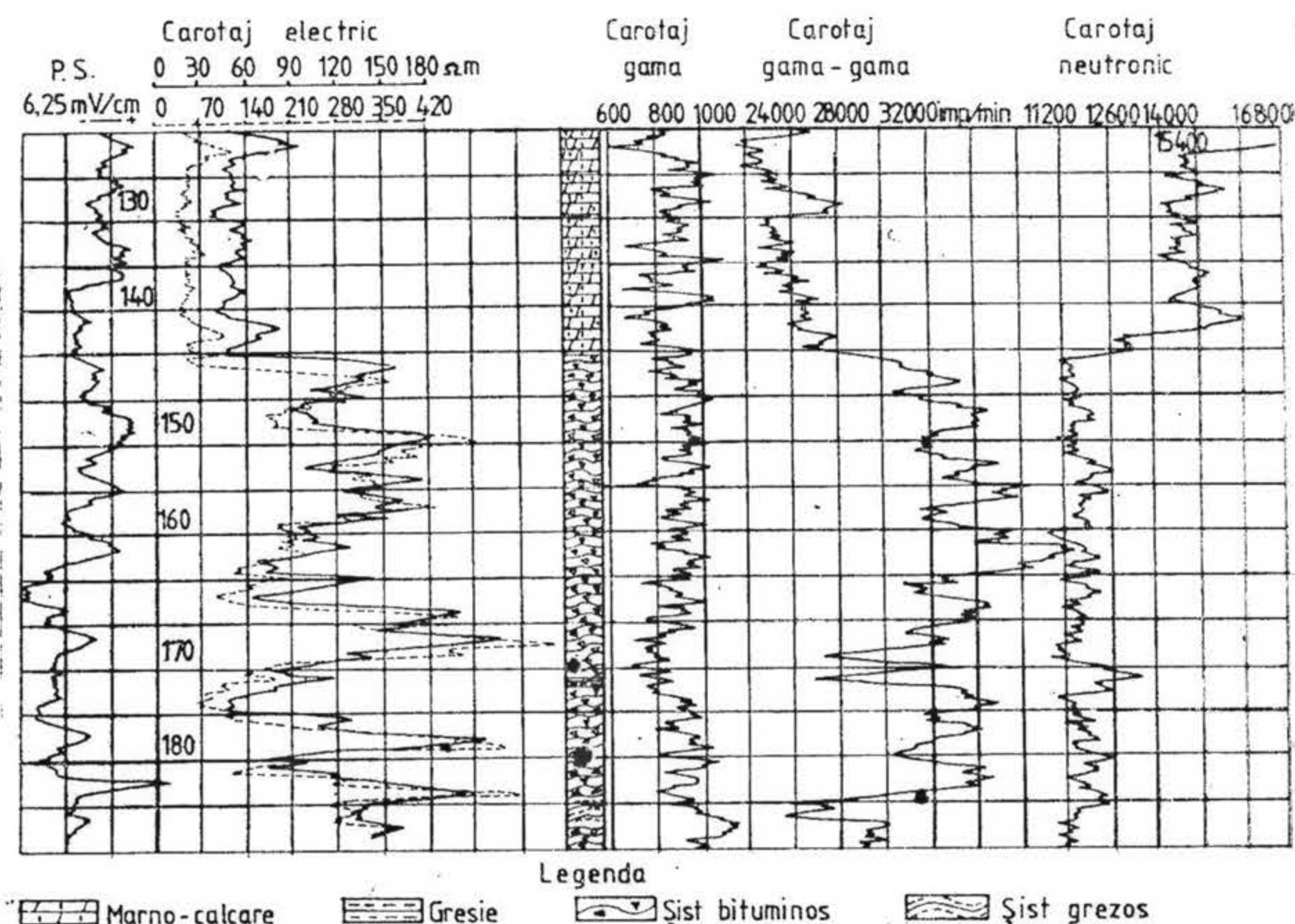


Fig. XIII.33. Diagramă geofizică complexă pentru șisturi bituminoase în zona Anina după IFLGS).

Șisturile bituminoase sunt delimitate cu siguranță, în raport cu marnocalcarele adiacente superioare, atât prin carotajul de rezistivitate cit și prin carotajele gama-gama de densitate și neutron-gama. Conținutul în materie organică al șisturilor explică rezistivitatea mare,

densitatea mică (maxime pe curba gama-gama) și conținutul mare în hidrogen (minim pe curba neutron-gama). Curba radiației gama naturale nu diferențiază, de regulă, șisturile bituminoase în raport cu marnocalcarele superioare, dar, poate preciza limita inferioară a pachetului de șisturi la intrarea în gresii în care, de obicei, forajele de explorare sunt oprite.

Variația conținutului în materie organică a șisturilor bituminoase este pusă în evidență cel mai bine prin modificarea densității rocii. De altfel, carotajul de densitate s-a aplicat cu succes la evaluarea cantitativă a șisturilor bituminoase (Smith et al., 1968). Unele limitări apar datorită existenței în masa șisturilor a unor cristale de NaHCO_3 cu o densitate mult mai mică decât a fracțiunii mineralogice pelitice și de existența unor goluri rămase în masa rocii prin dizolvarea acestui mineral. În ambele cazuri, în carotaj se înregistrează o densitate mai mică, nelegată de creșterea conținutului în materie organică.

Pe baza corelației între conținutul de materie organică și densitatea înregistrată în carotaj, pentru fiecare zonă cercetată pot fi stabilite, cu metodele standard de regresie, ecuațiile care leagă răspunsul carotajului de densitate de conținutul util. O dată stabilită o astfel de corelație, pentru sondele noi de explorare este suficient să se înregistreze numai carotajul de densitate; în acest caz conținutul în materie organică al șisturilor bituminoase, în orice etapă a explorării, poate fi cunoscut cu o precizie suficient de bună.

**XIV. EVALUAREA REZERVELOR
ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE
MINERALE UTILE**

**Ing. VIOREL VIERESCU
Dr. ing. IULIU SILAȘ**

1. PRINCIPII GENERALE

Fondul național de rezerve geologice de substanțe minerale utile se constituie pe baza rezervelor geologice evaluate pe zăcămintele de substanțe minerale utile, luând în considerare datele rezultate din lucrările de prospecțiune, explorare și exploatare, precum și din studiile tehnologice, tehnice și economice efectuate în diferite etape.

Rezervele geologice reprezintă cantitățile de substanță minerală utilă caracterizată din punct de vedere al calității și al condițiilor de zăcămint, în funcție de gradul de cunoaștere realizat prin lucrările executate, calculate așa cum se găsesc în zăcămint, fără a lua în considerare modificările ce pot surveni în procesul de exploatare (pierderi, diluții).

Cantitatea se exprimă în tone (t) aproape la toate substanțele și în metri cubi (m³) în mod special la rocile de construcție (marmură, nisip și pietriș etc.).

Calitatea este diversificată în funcție de substanță și, de obicei, exprimă elementul util sau dăunător în procente (%) la minereuri neferoase, feroase, bauxită și altele sau gram/tonă (g/t) pentru minereuri auro-argentifere, elemente rare; pentru unele substanțe nemetalifere și roci utile calitatea este caracterizată de o serie de parametri fizici (grad de alb la caolin, indice pirometric la argile refractare etc.), iar pentru cărbuni — putere calorifică, procent de cenușă, umiditate etc.

Evaluarea rezervelor geologice constituie totalitatea operațiilor care, luând ca bază datele rezultate din lucrările de cercetare geologică și exploatare, conduce la stabilirea cantității, calității și condițiilor unui zăcămint, pe o porțiune delimitată precis în spațiu.

Pentru a evita și micșora pe cât posibil erorile și uneori subiectivismul de care este legată evaluarea rezervelor, urmare selecționării datelor și interpretărilor geologice și pentru a obține elemente de calcul cât mai aproape de realitate, se impune respectarea cu strictețe a câtorva principii de bază:

— parametrii care exprimă cantitatea (grosime, masă volumetrică) și parametrii care exprimă calitatea să fie determinați din același loc și pe baza aceleiași probări;

— evaluarea să fie făcută pe unități de calcul, delimitate precis în spațiu;

— să existe o identitate perfectă între reprezentarea geologică și cea folosită la calculul rezervelor pe profile, secțiuni orizontale, unități de calcul și în ansamblu;

— să se urmărească ca punctele de probare să fie amplasate pe o rețea cât mai regulată; cu cât zăcămintul este mai neuniform și complicat, cu atât rețeaua să fie mai deasă, iar lucrările mai regulat amplasate;

— în cadrul fiecărei etape de cercetare, la nivelul corespunzător gradului de detalii și cunoaștere propus, să se efectueze studii tehnologice, tehnice și economice, având în vedere că noțiunea de rezervă geologică este în strinsă legătură cu noțiunea de zăcămint, care în ultimă instanță reprezintă o entitate economică;

— pentru a aprecia gradul de precizie realizat, în toate etapele să se efectueze calcule statistice și geostatistice și să se creeze posibilitatea comparării datelor, în anumite zone din zăcămint, cu datele de detaliu realizate pe porțiuni restrinse în același zăcămint;

— să se evite supraevaluarea rezervelor cu un mic grad de cunoaștere, considerându-se că corectarea rezervelor se va face ulterior prin promovarea acestora de la o categorie inferioară la alta superioară;

— în toate operațiile de calcul și clasificare a rezervelor să se țină seama de toți factorii geologici și în mod deosebit de tendințele de efilare, slăbire și discontinuitate a mineralizației, grad de tectonizare, oxidare etc.

2. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE

2.1. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ GRADUL DE CUNOAȘTERE

După gradul de cunoaștere, rezervele geologice se clasifică în categoriile A, B, C₁ și C₂ și rezerve de prognoză (D).

Rezervele A, B și C₁ se calculează pe baza parametrilor măsurati (rezerve măsurate).

Rezervele C₂ se calculează pe bază de parametri deduși sau indicați (rezerve indicate).

Rezervele de prognoză (D) se estimează pe bază de parametri presupuși sau ipotetici (rezerve ipotetice).

Suma rezervelor A + B + C₁ + C₂ + D o constituie resursa totală sau potențială a unei zone sau provincii metalogenetice luată în ansamblul său.

Pentru gradul de cunoaștere, până în prezent în normativele în vigoare nu sînt stabilite condiții impuse exprimate valoric; de regulă clasificarea rezervelor în categorii se face pe baza unor criterii sau aprecieri.

Orientativ se pot avea în vedere pentru cantitatea de substanță utilă (de exemplu metalul în minereurile neferoase) procentele de certitudine cuprinse în tabelul XIV.1 care caracterizează gradul de cunoaștere (sau gradul de certitudine).

Tabelul XIV.1

Certitudinea rezervelor după gradul de cunoaștere, în %

Specificație	A	B	C ₁	C ₂	D
Pe unitatea de calcul	70	60	50	25	—
Pe întregul zăcămint	90	80	70	50	30
Pe întreaga zonă sau provincie metalogenetică	—	—	—	—	25

Clasificarea în categorii (A, B, C₁ și C₂) a rezervelor cuprinse în limitele unităților de calcul constituie o operație complexă și se face aplicând cu mult discernămint criteriile prevăzute în normativul în vigoare, ținând seama de clasa în care este încadrat zăcămintul.

Încadrarea zăcămintelor în clase se face pe baza factorilor naturali determinați în mare măsură de condițiile de zăcămint.

Normele metodologice în vigoare cuprind 3 clase de zăcămint:

Zăcămintele din clasa I-ii au forme și contur regulat, o variație mică a distribuției componentelor utili și prezintă dimensiuni mari.

Zăcămintele din clasa a II-a au forme și contur neregulat, o variație relativ mică a distribuției componentelor utili și sînt de dimensiuni mijlocii.

Zăcămintele din clasa a III-a au forme și contur foarte neregulat, o variație mare a distribuției componentelor utili și sînt de dimensiuni variate.

Definirea generală a categoriilor de rezerve are la bază următoarele criterii:

Rezervele de prognoză (D) sînt estimate și apreciate pe baza factorilor și condițiilor geologice generale care pot fundamenta emiterea unei ipoteze privind formarea și acumularea substanțelor minerale utile solide în unele regiuni, în vederea aprecierii perspectivelor acestora; de asemenea, sînt estimate în extinderea rezervelor de categoria C₂.

Categoria C₂ cuprinde rezervele cercetate cu lucrări izolate, în număr mic și la distanțe mari, sau extrapolate de la rezervele de categorii superioare.

Categoria C₁ cuprinde rezervele calculate prin interpolarea datelor între lucrări miniere și foraje, executate separat sau împreună, prin extrapolarea de la rezervele de categoria A și B, precum și prin extinderea datelor obținute într-un aliniament de cercetare, de o parte și de alta a acestuia (la zăcămintele din clasa I și II).

Categoria B cuprinde rezervele delimitate în panouri de exploatare sau trepte de carieră și rezervele calculate prin interpolare între lucrările miniere sau foraje executate separat sau împreună, la o rețea corespunzătoare clasei respective.

Categoria A cuprinde rezervele delimitate în panouri de exploatare sau în trepte de carieră; există rezultate confirmate prin exploatare.

Definirea generală a categoriilor de rezerve se completează cu criteriile ce condiționează clasificarea rezervelor în categorii care sînt: obligatorii, orientative și aprecieri.

Criteriile obligatorii se aplică indiferent de clasa în care este încadrat zăcămintul, după cum se arată în tabelul XIV.2.

Criteriile orientative se referă în principal la:

— clasificarea în categorii pe baza condițiilor impuse de gradul de cunoaștere exprimat în % (tabelul XIV.1), care se determină pe bază de calcule statistice și geostatistice;

— executarea unei anumite rețele de lucrări și delimitarea panoului de un anumit număr de laturi, în funcție de substanță și clasa în care este încadrat zăcămintul; este indicat ca rețeaua să se stabilească pe bază de studii statistice și geostatistice care ulterior să fie verificate prin analize cu privire la gradul de regăsire al rezervelor în procesul de producție. În tabelul XIV.3 se prezintă rețeaua de lucrări care orientativ poate servi la explorarea și clasificarea rezervelor în categorii pentru minereuri neferoase.

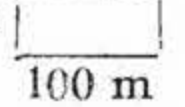
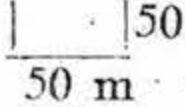
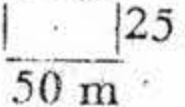
Aprecieri. În general, parametrii privind cantitatea rezervelor, calitatea acestora precum și condițiile de zăcămint sînt:

- presupuse la rezervele de prognoză (D)
- cunoscute orientativ la categoria C₂;
- cunoscute informativ la categoria C₁;
- cunoscute la categoria B;
- cunoscute în detaliu la categoria A.

Tabelul XIV.2
Criteriile obligatorii de încadrare a rezervelor în categorii

Specificație	A	B	C ₁	C ₂	D
<i>Etapa de cercetare</i>					
Prospecțiune	Nu	Nu	Nu	Da	Da
Explorare					
— preliminară	Nu	Nu	Da	Da	Nu
— de detaliu	Da	Da	Da	Nu	Nu
Exploatare	Da	Nu	Nu	Nu	Nu
<i>Studii tehnologice</i>					
Laborator	Nu	Nu	Nu	Da	Nu
Pilot	Nu	Nu	Da	Nu	Nu
Semiindustrial	Nu	Da	Nu	Nu	Nu
Industrial	Da	Nu	Nu	Nu	Nu
<i>Studii economice</i>					
Aprecieri	Nu	Nu	Nu	Da	Da
Studii de etapă	Nu	Nu	Da	Da	Nu
Studii de condiții industriale	Da	Da	Da	Nu	Nu
Studii economice, proiecte de exploatare	Da	Da	Nu	Nu	Nu

Tabelul XIV.3
Clasificarea rezervelor pe categorii după gradul de cunoaștere (conturare)

Încadrarea zăcămintului	Lucrări de explorare	A	B	C ₁	C ₂
Clasa I	Lucrări miniere  50 m 100 m	3 laturi	2 laturi	1 latură	—
	Foraje dispuse pe o rețea pătratică sau dreptunghiulară	—	50—100m	100—200 m	peste 200 m
Clasa II	Lucrări miniere  50 m 50 m	4 laturi	2—3 laturi	1—2 laturi	1 latură
	Foraje	—	—	50—100m	100—200m
Clasa III	Lucrări miniere  25 m 50 m	—	3—4 laturi	2—3 laturi	1—2 laturi
	Foraje	—	—	—	50—100 m

2.2. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ GRADUL DE PREGĂTIRE

După gradul de pregătire, ținând seama de condițiile impuse de producție, rezervele geologice se împart în:

- *rezerve deschise*, care au condițiile create pentru a începe, în raza lor, lucrările de pregătire în vederea exploatării, având asigurate posibilitățile de transport al materialului în condițiile de securitate minieră;
- *rezerve pregătite sau gata pentru exploatare* unde pot începe lucrările de abataj impuse de metoda aleasă, în condiții totale de securitate minieră;
- *rezerve în curs de exploatare* situate în panourile intrate în exploatare.

2.3. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ POSIBILITĂȚILE DE VALORIFICARE

După posibilitățile de valorificare, în condițiile tehnico-economice existente și în perspectivă, rezervele geologice se clasifică în următoarele grupe:

- *rezerve geologice de bilanț*, cuprinzând rezervele care din punct de vedere tehnic și economic pot constitui obiect de valorificare în condițiile cerințelor actuale ale economiei naționale, fără restricții impuse de avizele legale (construcții, amenajări hidrotehnice, terenuri agricole, rezervații, monumente etc.);
- *rezerve geologice în afară de bilanț*, cuprinzând rezervele care în prezent nu pot constitui obiect de valorificare, în condițiile cerințelor economiei naționale, dar se apreciază că prin progresul tehnic sau prin schimbarea condițiilor economice actuale, pot fi valorificate în viitor.

2.3.1. CONDIȚII INDUSTRIALE ALE ZĂCĂMINTELOR

Indiferent de stadiul de cercetare în care se află zăcămintul, concomitent cu evaluarea rezervelor este necesar să se stabilească sau să se aprecieze în linii mari și condițiile economice, în vederea clasificării rezervelor în bilanț sau în afară de bilanț.

Pentru a putea fi valorificate, zăcămintele trebuie să îndeplinească unele cerințe privind cantitatea, calitatea, condițiile de zăcămint geologic-miniere precum și condițiile economice de valorificare, denumite *condiții industriale*.

Principalele condiții industriale pe tipuri de zăcămint sunt:

a) **Pentru minereuri neferoase, auro-argentifere, feroase:**

- *conținutul mediu minim* în component util echivalent al rezervelor clasificate în grupa de bilanț pe întreg zăcămintul;
- *conținutul mediu minim* în component util echivalent pe unitatea de calcul, pentru rezervele clasificate în grupa de bilanț;
- *conținutul minim limită* în component util echivalent pe probe, pe baza căruia se face conturarea rezervelor de bilanț în cazul existenței unor trecceri gradate de la util la steril;
- *conținutul mediu minim* în component util echivalent pe unitatea de calcul, pentru rezervele clasificate în grupa în afară de bilanț;

- *conținutul mediu maxim* admis pe unitatea de calcul, pentru componenții dăunători, în vederea conturării rezervelor de bilanț.

Caracteristicile principale care determină separarea sorturilor industriale:

- *coeficientul de mineralizare* minim admis pe unitatea de calcul în cazul existenței intercalațiilor sterile care nu pot fi conturate pe baza lucrărilor de cercetare executate, dar care pot fi îndepărtate în procesul de exploatare;
- *grosimea maximă admisă* a intercalațiilor sterile care se includ în calculul rezervelor;
- *grosimea minimă* a corpurilor de substanță minerală utilă care se ia în considerare în calculul rezervelor, în funcție de conținuturile în componenți utili și dăunători sau *puterea minimă* care se definește ca produs al grosimii minime cu conținutul mediu minim pe panou;
- *adâncimile maxime* până la care se calculează rezervele de bilanț respectiv în afară de bilanț, pentru zăcămintele exploatabile în carieră, în subteran sau mixt, luându-se în considerare și condițiile hidrogeologice ale zăcămintului;

— *coeficientul maxim de descoperire* pentru rezervele exploatabile în carieră.

Conținutul în component util echivalent se exprimă în unități de component util principal și se calculează în mod distinct pe sorturi industriale, prin echivalarea componenților utili secundari în component util principal, ținând seama de valoarea componenților.

Pentru zăcămintele exploatabile în subteran este necesar să se examineze mai multe variante de conținut mediu minim pe unitatea de calcul și zăcămint, în cazul mineralizațiilor cu limite nete, iar dacă mineralizația are limite difuze, este necesar să se studieze și variante cu conținut limită.

Pentru zăcămintele exploatabile în carieră este necesar să se examineze variante de conținut limită și conținut mediu minim pe zăcămint, variante de adâncime maximă de exploatare în carieră și în subteran și de indici de exploatare.

Determinarea parametrilor care definesc condițiile industriale precum și detaliera variantelor de calcul se face în funcție de condițiile geologice-miniere în care se află zăcămintul și de natura substanței minerale utile

b) **Pentru cărbuni:**

- condițiile de calitate se stabilesc pentru puterea calorifică și conținutul în cenușă;
- condițiile de grosime se referă la grosimea minimă utilă introdusă în calcul cum și la grosimea maximă a intercalațiilor sterile care se admit în calcul;
- coeficientul maxim de descoperire constituie, de asemenea, condiție industrială importantă, pentru stabilirea limitei de exploatare la zi, precum și repartizarea rezervelor de bilanț și în afară de bilanț, în anumite situații.

c) **Pentru substanțe minerale nemetalifere și roci utile:**

- condițiile industriale se adaptează de la caz la caz, în funcție de substanță, criteriile impuse de domeniul de utilizare și posibilitățile tehnice și economice ale exploatării; rocile, de exemplu, se exploatează, în condiții economice, numai în carieră,
- Rezervele industriale* reprezintă cantitățile de substanțe minerale utile care pot fi realizate în procesul de exploatare (curent sînt denumite *minereu sau cărbune la gura minei*) și se stabilesc luînd ca bază rezervele geologice exploatabile, cuprinse într-un perimetru dat, ținînd seama de o serie de factori determinați de metoda de exploatare preconizată (pierderi, diluție).

Rezervele industriale se calculează în cadrul proiectelor de exploatare și servesc la dimensionarea producției și a investițiilor.

3. PARAMETRII DE CALCUL AL REZERVELOR

Parametrii de calcul cantitativi și calitativi se stabilesc ca valori medii ale valorilor individuale obținute din lucrările de cercetare geologică, prin măsurare directă sau prin analize și determinări executate pe probe colectate din aceste lucrări.

Datele care caracterizează condițiile de zăcămint se obțin prin studii geologice (mineralogice și petrografice), hidrogeologice, tehnologice, care se bazează pe elementele obținute din probările specifice fiecărui studiu în parte.

3.1. PARAMETRII PENTRU CALCULUL CANTITATIV AL REZERVELOR

Pentru calculul cantitativ al rezervelor este necesară determinarea parametrilor grosime, suprafață și greutate volumetrică.

Grosimea zăcămintului se măsoară în mod obligatoriu numai în secțiunile de probare care în totalitate sau fracționat cuprind mineralizația din acoperiș până în culcuș. La zăcămintele complicate, cu o mineralizație dispusă foarte neuniform, în anumite cazuri de excepție se pot măsura în plus și grosimile la intervale regulate, situate între secțiunile de probare.

În cazul zăcămintelor care prezintă mare uniformitate a parametrilor calitativi (calcare, andezite, roci de construcție etc.) și nu necesită o probare pe o rețea deasă, grosimea se poate măsura și numai pe bază de cartare a lucrărilor sau deschiderilor naturale dispuse transversal pe zăcămint.

De regulă, grosimea se măsoară perpendicular pe direcția generală a zăcămintului.

Grosimea se poate determina în lucrări ca :

- grosime *aparentă*, într-o lucrare care străbate zăcămintul sub un unghi oarecare ;
- grosime *reală*, măsurată normal la direcția și înclinarea zăcămintului ;
- grosime *totală*, care cuprinde mineralizația utilă și intercalațiile sterile ;
- grosime *utilă*, care cuprinde numai mineralizația utilă.

Grosimea reală se poate obține și din grosimea aparentă, prin corectarea acesteia, ținând seama de unghiul format de direcția de măsurare a grosimii și normala la planul zăcămintului.

În cazul zăcămintelor care nu prezintă limite nete, grosimea se stabilește strict numai în cadrul probelor acceptate în calculul conținutului mediu, la limita probelor cu un conținut minim limită (conținut marginal).

Pentru zăcămintele cu mai multe sorturi de minereu, grosimea se stabilește pentru fiecare sort de minereu în parte.

În toate cazurile, grosimea se recalculează după direcții normale la planul în care se măsoară suprafața care se introduce în calculul rezervelor.

Pentru zăcămintele exploatabile în carieră, în afara grosimii zăcămintului se determină și grosimea copertei, în vederea stabilirii volumului acesteia și a coeficientului de dezvelire.

În cazul în care calculul rezervelor se efectuează prin metoda secțiunilor, grosimea medie nu intervine, de regulă, ca parametru de calcul.

Suprafața zăcămintului, în totalitate sau pe unități de calcul, se determină în plan orizontal sau în plan vertical.

Suprafața se determină în planul orizontal pentru corpurile de substanțe minerale utile de formă tabulară (strate, filoane), lentiliformă, cu înclinare până la 45° precum și pentru corpurile de substanțe minerale utile izomerice dacă rezervele se calculează prin metoda secțiunilor orizontale.

Suprafața se determină în planul vertical pentru corpurile de substanță minerală utilă tabulare și lentiliforme cu înclinare peste 45° și pentru corpurile de substanță minerală utilă izomerice dacă rezervele se calculează prin metoda secțiunilor verticale.

Suprafața se determină de regulă prin proiecție și prin desfășurare.

În cazul zăcămintelor tabulare cu înclinare mare care prezintă schimbări de direcție, ce se mențin pe distanțe care depășesc lungimea unui panou de calcul, este indicat ca proiecția să se execute în planuri diferite, paralele cu direcția medie în porțiunile respective ale corpului de substanță minerală utilă.

La trasarea conturului suprafeței de calcul al rezervelor într-un anumit plan este necesar să se țină seama de felul și amplasarea lucrărilor de explorare ca și de metoda de calcul adoptată.

Suprafața poate fi delimitată prin lucrări de explorare sau de exploatare, pe bază de aflorimente sau prin limite convenționale.

Delimitarea suprafețelor prin punctele extreme de cunoaștere în zăcămint se face admitând o variație liniară între acestea.

Între punctele care au interceptat zăcămintul și cele care nu l-au interceptat, limita suprafețelor luate în calculul rezervelor se stabilește la jumătatea distanței între aceste puncte sau în funcție de grosimea corpului de substanță minerală utilă și de unghiul mediu de efilare.

În afara punctelor extreme de cunoaștere în zăcămint, limita convențională se stabilește după cum urmează :

— prin procedee geologice, când se ține seama de aria de răspândire a rocilor purtătoare de mineralizație, de prezența elementelor chimice, mineralogice etc. ;

— prin procedee morfologice, în cazul zăcămintelor a căror grosime și conținut scad treptat spre periferie (folosindu-se metoda secțiunilor și izoliniilor).

Limita convențională a zăcămintelor se trasează la limita grosimii minime sau conținutului minim limită, dacă sînt stabilite prin studii de condiții industriale, sau efectuându-se mai multe variante de calcul pe baza unor criterii stabilite prin analogie cu alte zăcămintele similare.

La stabilirea scării planurilor se va avea în vedere necesitatea de a nu avea dimensiuni ale unităților de calcul mai mici de 5 cm.

Ariile suprafețelor de calcul se determină prin metode geometrice sau prin măsurare cu planimetrul sau cu abaca. În cazul măsurării suprafeței cu planimetrul sau cu abaca se execută trei măsurători. Diferența între ele nu trebuie să depășească 5%, în calcul luându-se valoarea medie a acestora.

Masa volumetrică se determină prin studii efectuate avînd la bază rezultatele probării tehnice constînd din :

— probe monolit (șantioane) luate din locurile de colectare a probelor necesare stabilirii calității zăcămintului ; desimea punctelor de probare se stabilește în funcție de condițiile de zăcămint (din 10 în 10 probe până la 100 pentru zăcămintele uniforme) ; pe aceste probe monolit se face determinarea masei volumetrice în laborator ;

— probe globale, prelevate în zone cu caracteristici calitative medii, raportîndu-se masa materialului obținut la volumul excavațiilor ; excavațiile pot să difere de la

1 m³ până la sute de m³ atunci când probarea se face colectând întregul material rezultat dintr-o galerie care traversează zăcămintul.

Pe baza cercetărilor amănunțite efectuate în lucrările care străbat zăcămintul se stabilește și un coeficient atribuit fisurațiilor și golurilor care nu pot fi determinate prin probele monolit și care în mod evident diminuează masa volumetrică.

3.2. STABILIREA CARACTERISTICILOR CALITATIVE ALE REZERVEI

Pentru stabilirea caracteristicilor calitative se prelevează probe *chimice* sau *tehnice* adecvate tipului mineralizației și scopului propus privind valorificarea.

Probarea chimică servește la stabilirea conținutului în componenți utili și dăunători, cuprinzând 4 operații principale: recoltarea, reducerea probelor, analiza chimică sau fizică, prelucrarea rezultatelor.

Recoltarea implică alegerea metodei de probare, stabilirea intervalului optim între probe, determinarea greutății optime a probei inițiale.

Pot fi aplicate mai multe metode de probare, în funcție de caracteristicile zăcămintului (formă, dimensiuni, distribuția în spațiu a mineralizației și a componentilor utili și dăunători), de metodica și etapele de cercetare (prospecțiune, explorare, exploatare), de starea minereului (dur, compact, afinat) și de scopul urmărit.

Cele mai obișnuite metode de colectare a probelor sînt: prin *brazde*, prin *puncte în rețea*, prin *răzuire*, prin *găuri de mină*, prin *secționarea carotelor*, *globală* etc. (v. Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor). Metoda de colectare a probelor influențează direct rezultatele obținute.

Distanța între punctele de colectare a probelor permite aprecierea gradului de cunoaștere ce poate fi obținut, determinînd costul lucrărilor de probare și caracterul reprezentativ al probării.

Distanța optimă între probe se stabilește experimental sau prin metode statistice.

Probele chimice se colectează din lucrările miniere sau din carotele recuperate din foraje.

În *lucrările miniere* metoda de probare cea mai utilizată este metoda brazdelor. Lățimea brazdei este de circa 10 cm, iar adîncimea de circa 5 cm. Lungimea diferă în funcție de caracteristicile zăcămintului, fiind de regulă de 1 m. Poziția și modul de execuție a brazdelor de probare depinde de grosimea zăcămintului, de înclinarea acestuia și de lucrările din care se colectează probele. Direcția brazdelor trebuie să fie cît mai apropiată de direcția după care variația componentilor utili și dăunători este maximă.

Pentru corpurile de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime foarte mică sau mică, colectarea probelor brazdă se execută din galerii direcționale și din suitori, pe înclinare. Poziția brazdelor se urmărește să fie cît mai apropiată de normala la planul caracteristic de poziție al corpului de substanță minerală utilă.

Mineralizațiile (de regulă filoanele auro-argente) cu grosimi sub 0,10 m se probează prin răzuire sau prin brazde direcționale, indiferent de înclinare.

În general, echidistanța între probele colectate din zăcămintele cu grosime foarte mică și mică este cuprinsă între 3 și 10 m, în funcție de variația conținuturilor în componenți utili.

În cazul zăcămintelor cu formă tabulară sau de corpuri lenticulare cu grosime medie sau mare și înclinare mare, precum și în cazul zăcămintelor cu formă izometrică, probele

se colectează în nișe și transversale de cercetare pe toată grosimea, săpate din galerii direcționale și uneori din suitori. Probele se colectează din pereții laterali ai lucrărilor cu poziția orizontală și se iau în brazde continue care se împart pe secțiuni.

În cazul zăcămintelor cu grosime medie sau mare și înclinare mică se colectează probe verticale continue (care se împart pe secțiuni) din suitorii verticale.

Pentru zăcămintele cu formă tabulară sau lenticulară cu grosime medie sau mare și înclinare medie, probarea se execută fie în lucrări miniere orizontale, fie în lucrări miniere verticale care traversează zăcămintul în întregime de la culcuș la acoperiș.

În cazul zăcămintelor cu formă de masiv, probele se colectează din galerii și suitori.

Colectarea probelor din carieră se face prin brazde continue împărțite în secțiuni, în funcție de înălțimea treptei de exploatare sau de grosimea zăcămintului. Distanțele între punctele de colectare a probelor pe toată înălțimea treptei variază între 25 și 50 m.

În zăcămintele cu grosime mare la care nu se evidențiază o lege a distribuției în spațiu a componentilor utili și pentru care explorarea se execută printr-o rețea pătratică de lucrări miniere, se probează sistematic toate lucrările executate în zăcămint.

Locul de colectare a probelor se nivelează întotdeauna înainte de probare.

Pentru *foraje* se cere un recuperaj minim în util de 80%.

Colectarea probelor se face de regulă din carotă, iar informativ din detritus. Pentru colectarea probelor din carotă, aceasta se secționează axial (manual sau mecanic), o parte constituind proba recoltată.

Lungimile secțiunilor de probare variază, în general, între 1 și 5 m, în raport de gradul de variație al repartiției componentilor utili, în funcție de grosimea zăcămintului, de lungimea carotelor și de gradul de recuperare a carotei. Din util, probele se colectează continuu.

Carotajul mecanic se completează cu datele rezultate din carotajul geofizic (v. Secțiunea XIII. Carotajul geofizic).

Reducerea probelor chimice trebuie să asigure obținerea conținutului real din locul de colectare. Acest lucru se realizează prin sfărîmarea, măcinare, omogenizare și reducere.

Schema de prelucrare a probelor se alege în funcție de variația distribuției componentilor utili.

La reducerea probelor se utilizează formula: $Q = kd^3$, în care Q este greutatea probei în kg, iar d — diametrul maxim al particulelor din probă în mm. În general, k variază între 0,1 pentru zăcămintele mai uniforme, 0,4 pentru zăcămintele relativ uniforme, până la 2,0 pentru zăcămintele extrem de neuniforme.

La fiecare reducere a probei este necesar să se respecte raportul între Q și d , stabilit de relația de mai sus.

Materialul rămas după reducerea probei se împarte astfel încît să se poată executa toate analizele (de bază, de control intern și extern) și să se păstreze și o parte ca martor în magazia de probe.

În general, pentru determinarea conținuturilor în componenți utili și dăunători secundari, este indicată unificarea probelor, cu scopul de a se reduce numărul de analize și a mări operativitatea probării.

Unificarea probelor se face după reducerea acestora, luînd din fiecare probă cantități proporționale cu greutatea lor. În general, lungimea pe care s-au colectat mai multe probe ce se supun unei singure analize nu trebuie să depășească 10 m. Întotdeauna gruparea probelor se face pe sorturi.

Analizarea probelor de bază, control extern și intern al analizelor chimice în scopul verificării exactității analizelor de bază. Materialul final rezultat de la reducerea

probelor recoltate din lucrările de explorare se expediază la un laborator autorizat, care are omologate metodele de determinare pentru componenții indicați.

Pentru verificarea exactității analizelor de bază se execută controlul intern și controlul extern.

Controlul intern se execută la laboratorul de bază, în proporție de 5–10% sau pentru fiecare a 10-a sau a 20-a probă (minimum 10–15 probe pe trimestru) și are ca scop scoaterea în evidență a erorilor incidentale influențate de modul de lucru al laboratorului.

Dacă analizele de control intern pun în evidență erori incidentale ce depășesc limitele admise, stabilite pentru fiecare substanță separat, datele analizelor de bază din perioada la care se referă controlul intern nu se introduc în calculul rezervelor.

Controlul extern se execută într-un laborator autorizat și are ca scop evidențierea unor erori sistematice în lucrările laboratorului chimic de bază în cursul unei perioade. Prin control extern se verifică și datele de analiză sau conținuturile exagerat de mari.

Controlul extern se execută în proporție de minimum 5% sau pentru fiecare a 20-a probă, iar pentru a stabili un coeficient de corecție sunt necesare minimum 10% din numărul analizelor de bază. Numărul probelor pentru care se execută controlul extern nu trebuie să fie mai mic de 30.

Pe măsura obținerii datelor de la laboratorul de bază, conținuturile se calculează pe lucrări de explorare, pe suprafețe conturate în corpul de substanță minerală utilă explorat, pe unități de calcul (panouri, blocuri etc.).

Conținuturile medii calculate pe lucrări, pe alinamente de explorare sau pe suprafețe conturate, constituie valori intermediare în calculul conținuturilor medii pe panouri.

Cele mai uzuale procedee de calcul al conținuturilor medii sunt *procedeele mediei aritmetice și procedeele mediei ponderate*.

a) *Procedeele mediei aritmetice*, folosește pentru calcularea conținutului mediu relația:

$$c_m = \frac{\sum c_i}{n}$$

în care: c_m este conținutul mediu; c_i — conținutul pe probă individuală; n — numărul probelor.

b) *Procedeele mediei ponderate* implică un volum mare de calcule și din acest motiv nu se aplică decât în anumite cazuri și anume:

— în cazul probelor colectate pe secțiuni cu lungimi variabile (l_i), calculul conținuturilor medii pe lucrări (c_m) se face prin *medie ponderată în raport cu lungimile secțiunilor probelor*, cu formula:

$$c_m = \frac{\sum c_i \cdot l_i}{\sum l_i}$$

în care: c_i este conținutul mediu pe secțiune, care se calculează cu aceeași formulă, iar l_i și c_i reprezintă valorile pe probe; l_i — lungimile probelor respective;

— pentru un număr limitat de probe (10–15), dispuse neuniform pe panoul de calcul sau a căror date de analiză prezintă variații mari, prin *ponderare în raport cu lungimea L , a zonei de influență a secțiunilor*, cu formula:

$$c_m = \frac{\sum c_i L_i}{\sum L_i}$$

în care: c_m este conținutul mediu; c_i — conținutul pe probe individuale; L_i — lungimea de influență;

— calculul prin *ponderare în raport cu lungimea secțiunii de probare* (grosimea g_i a zăcămintului măsurată în transversale) și *cu zona de influență L_i* se face cu formula:

$$c_m = \frac{\sum c_i g_i L_i}{\sum g_i L_i}$$

în care: c_m este conținutul mediu; c_i — conținutul pe probe individuale; g_i — grosimea zăcămintului măsurată în locul de probare; L_i — lungimea de influență.

— în cazul explorării prin foraje, calculul se face prin *ponderare în raport cu volumul teoretic al carotei și volumul teoretic al detritusului produs pe un metru liniar de gaură de sondă*. Volumul teoretic al carotei și al detritusului pe un metru liniar de gaură de sondă se calculează prin formule sau se apreciază în procente față de volumul găurii de sondă.

Formulele utilizate în acest scop sunt următoarele:

$$V_c = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{100}; \quad V_d = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \frac{r}{100};$$

V_c și V_d reprezentînd volumele teoretice de carotă respectiv detritus pe un metru liniar de gaură de sondă; D și d — diametrul găurii de sondă respectiv al carotei; r — recuperajul în util, în %.

În cazul forajului cu alicie este necesară trecerea detritusului printr-un separator magnetic, în scopul curățirii lui de sfărîmături de alicie.

Exactitatea analizelor chimice ale probelor se verifică prin *analize de control intern și extern*, care se *prelucrează statistic* în mod periodic, după cum urmează:

Pe baza rezultatelor analizelor de control intern se calculează *eroarea medie întâmplătoare (incidentală) relativă* cu ajutorul formulei:

$$e_m = \frac{\sum_{k=1}^n |c_{ik} - c_{bk}|}{2n\bar{c}_b} \cdot 100 \quad [\%]$$

în care: e_m este eroarea medie întâmplătoare; c_i — conținutul dat de analiza de control intern; c_b — conținutul dat de analiza de bază; n — numărul analizelor de control.

Pentru stabilirea existenței și mărimii erorilor sistematice puse în evidență de controlul extern, se efectuează următoarele calcule:

Conținutul mediu:

— pentru analiza de bază

$$\bar{c}_b = \frac{\sum_{k=1}^n c_{bk}}{n}$$

— pentru analiza de control extern

$$\bar{c}_e = \frac{\sum_{k=1}^n c_{ek}}{n}$$

unde: c_b este conținutul probei de bază; c_e — conținutul probei de control extern; n — numărul probelor controlate.

Coefficientul de corecție datorită erorii sistematice (f)

$$f = \frac{\bar{c}_e}{\bar{c}_b}$$

Dacă $0,95 < f < 1,05$ se admite că practic analizele de bază nu au fost afectate de o eroare sistematică.

Dacă f este în afara intervalului cuprins între 0,95 și 1,05, prelucrarea statistică este continuată cu următoarele calcule:

Stabilirea abaterii medii pătratice a conținuturilor medii (m_b = abaterea pentru analizele de bază; m_e = abaterea pentru analizele de control extern):

$$m_b = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (c_{bk})^2 - n\bar{c}_b^2}{n(n-1)}}$$

$$m_e = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (c_{ek})^2 - n\bar{c}_e^2}{n(n-1)}}$$

Stabilirea coeficientului de corelație dintre analizele de bază și cele de control extern (r):

$$r = \frac{\sum_{k=1}^n c_{bk} \cdot c_{ek} - n\bar{c}_b \cdot \bar{c}_e}{\sqrt{\left[\sum_{k=1}^n (c_{bk})^2 - n\bar{c}_b^2 \right] \cdot \left[\sum_{k=1}^n (c_{ek})^2 - n\bar{c}_e^2 \right]}}$$

Stabilirea coeficientului de probabilitate al existenței erorii sistematice (t):

$$t = \frac{|\bar{c}_b - \bar{c}_e|}{\sqrt{m_b^2 + m_e^2 - 2rm_b m_e}}$$

Dacă $t \leq 2$ nu există eroare sistematică; dacă $t > 2$ există eroare sistematică.

Înlocuirea probelor excepționale. În cazul zăcămintelor cu o repartiție neuniformă a componentilor utili, analizele probelor chimice pot pune în evidență unele probe cu conținuturi excepționale.

Se consideră că o probă este excepțională într-o unitate de calcul dacă împărțind cantitatea de rezerve Q din unitatea de calcul la numărul probelor n colectate, nu se poate accepta pe baza cunoașterii geologice obținute, că în acea unitate de calcul există Q/n rezerve cu conținuturile probei excepționale.

În cazul probelor excepționale se reface analiza. Dacă rezultatul reanalizării confirmă conținutul inițial, se reprobează locul de unde a fost colectată proba respectivă; dacă analiza indică un conținut normal, acesta se introduce în calculul conținuturilor.

Dacă analiza confirmă din nou conținutul inițial, se procedează astfel:

— în cazul unei unități de calcul cu mai mult de 50 de probe, se ia în calculul conținuturilor conținutul probei excepționale;

— în cazul unei unități de calcul cu mai puțin de 50 de probe conținutul probei excepționale se înlocuiește cu media conținuturilor probelor care o încadrează (5–10 probe de o parte și de alta) sau prin conținutul mediu calculat cu proba excepțională (pe lucrare sau pe panou) sau prin alte procedee, dându-se justificările necesare.

3.3. STABILIREA CONDIȚIILOR DE ZĂCĂMÎNT

Pentru stabilirea condițiilor de zăcămînt se efectuează studii, după cum urmează:

a) Studii geologice complexe, bazate pe cartarea tuturor lucrărilor executate precum și a deschiderilor naturale, coroborate cu măsurători geofizice, geochimice etc.

b) Studii mineralogice și petrografice bazate pe datele obținute din probarea mineralogică.

c) Studii cu privire la gradul de tectonizare, bazate pe cartări geologice și analize cu privire la microtectonica zăcămîntului.

d) Studii hidrogeologice bazate pe măsurători ale debitelor de apă în diferite condiții de regim, anotimp, adîncime etc.

e) Studii tehnice care se bazează pe datele obținute prin probarea tehnică. Aceasta are ca scop determinarea greutateii volumetrice, a umidității, compactității, porozității, tăriei (durității), fisurației, stabilității rocilor în lucrările de exploatare, rezistenței de rupere la șoc, rezistenței la sfărîmarea și coeficientului de afinare.

f) Studii tehnologice care se execută pentru obținerea unor parametri industriali privind tehnologia de exploatare și tehnologia de preparare-prelucrare.

Studiile tehnologice au la bază datele obținute din probarea tehnologică, care diferă în funcție de natura substanței, etapa de cercetare, scopul final propus în tema de cercetare.

Probarea tehnologică de exploatare se execută în scopul determinării posibilităților și condițiilor de exploatare a zăcămîntului precum și stabilirii unor parametri industriali (diluție, pierderi, consumuri specifice, productivitate) necesari întocmirii studiilor de condiții industriale și, dacă este cazul, a proiectului de punere în exploatare.

De regulă, probarea tehnologică de exploatare (uzual denumită abataje experimentale) se execută în etapa de explorare de detaliu sau după încheierea lucrărilor de explorare detaliată.

Probarea tehnologică pentru preparare are scopul de a furniza date privind fluxul tehnologic cel mai indicat pentru obținerea unui produs valorificabil și stabilirea într-o etapă avansată de cercetare a unor parametri necesari pentru elaborarea studiilor de condiții industriale sau pentru întocmirea proiectelor de punere în exploatare.

Probarea tehnologică de preparare se efectuează în toate etapele de cercetare geologică (prospecțiune, explorare și exploatare; tabelul XV. 4).

Probele tehnologice pe fazele de cercetare

Faza de încercare	Cantitate	Instalație	Se obțin date privind:	Etapa de cercetare în care se execută
Laborator	10—500 kg	Laborator	Caracteristici calitative medii ale probei. Caracterizarea materialului (asociație de minerale și concrescență). Metode de preparare. Flux tehnologic informativ. Parametri informativi privind extracția în componenți utili.	Prospecțiune și explorare preliminară (rezerve categ. C ₂ și în unele cazuri categ. C ₁)
Pilot	10—100 t	Instalație pilot 2—12 t/zi	Caracteristici calitative medii ale probei. Caracterizarea materialului (asociație de minerale și concrescență). Flux tehnologic de preparare. Grad de sfărîmare. Sorturi de concentrate. Extracție în greutate. Extracție în componenți utili. Consum informativ reactivi.	Explorare preliminară și de detaliu (rezerve categ. C ₁ și în unele cazuri categ. B)
Semiindustrial	500—1500 t	Instalație semiindustrială 20—40 t/zi	Caracteristici calitative medii ale probei. Flux tehnologic de preparare optim. Grad de sfărîmare. Sorturi de concentrate. Calitatea concentratelor. Extracție în greutate. Extracție în componenți utili. Consumuri specifice de energie, materiale și reactivi.	Explorare de detaliu (rezerve categ. C ₁ , categ. B și în unele cazuri categ. A)
Industrial	Peste 1500 t	Instalație în funcțiune de la 125 t/zi	Verificarea și îmbunătățirea fluxului tehnologic de preparare în vederea ameliorării parametrilor de extracție.	Explorare de detaliu și exploatare (rezerve de categ. B și categ. A)

4. METODE DE CALCUL AL REZERVEI

În calcularea rezervelor pot fi aplicate metode de calcul clasice sau geometrice, utilizând parametri determinați prin metode obișnuite sau utilizând parametri obținuți prin calcule statistico-matematice și geostatistice.

În cazul aplicării metodelor de calcul clasice obișnuite, stabilirea valorilor medii ale parametrilor de calcul se face astfel:

Grosimea medie se stabilește prin medie aritmetică simplă dacă repartiția punctelor de măsurare în zăcămint este destul de uniformă sau dacă nu există variații continue și uniforme de grosime; în celelalte cazuri grosimea medie se stabilește prin medie ponderată în raport cu lungimea de influență a locurilor în care s-au făcut măsurători. Lungimea de influență a locului de măsurare a grosimii este egală cu suma jumătăților dintre acestea și locurile vecine în care s-au executat măsurătorile.

Conținuturile medii se calculează, în cele mai multe cazuri, prin medie aritmetică simplă sau ponderată. Calculul conținuturilor se face prin *medie aritmetică ponderată* în următoarele cazuri:

— în cazul probelor colectate pe secțiuni cu lungimi variate și se ponderează în raport cu lungimile secțiunilor probelor;

— pentru un număr limitat de probe (10—15), dispuse într-un mod neuniform în cadrul unității de calcul sau a căror date de analiză prezintă variații mari, conținuturile se calculează prin ponderare în raport cu zona de influență a probelor, apoi pe suprafețe de calcul prin ponderare în raport cu lungimea lucrărilor (sau cu grosimea zăcămintului) și cu distanța între lucrări și pe unități de calcul prin ponderare în raport cu mărimea suprafețelor;

— în cazul grosimilor variabile, sau dacă există o relație între grosime și conținut se ponderează în raport cu grosimea.

În celelalte cazuri, conținuturile se calculează, în general, prin medie aritmetică simplă, cu excepția calculului conținuturilor pe categorii de rezerve, care se execută prin ponderare în raport cu rezervele panourilor.

Alegerea metodei de calcul al rezervelor se face în funcție de următorii factori:

- metoda de explorare aplicată;
- forma și înclinarea corpurilor de substanță minerală utilă;
- dimensiunile corpurilor din care este alcătuit zăcămintul;
- situarea în spațiu a corpurilor de substanță minerală utilă și raporturile dintre acestea;
- metodele de exploatare aplicate sau cele preconizate în cazul zăcămintelor noi (eventual).

Cele mai utilizate metode clasice pentru calculul rezervelor sînt următoarele:

— *Metoda blocurilor geologice*, avînd ca unitate de calcul blocul delimitat pe criterii geologice, ținînd seama și de sistemul de explorare; este folosită în special în faza de explorare preliminară (în special la rezervele de categoria C₂), pentru zăcămintele cercetate cu lucrări miniere și foraje executate separat sau împreună.

— *Metoda panourilor (blocurilor)* de exploatare, avînd ca unitate de calcul panoul sau blocul delimitat de lucrări amplasate pe o rețea stabilită în funcție de tipul de zăcămint și metoda de exploatare preconizată; metoda este folosită în faza de explorare preliminară și de detaliu (rezerve de categoria C₁, B și A), pentru zăcămintele cercetate în mare măsură prin lucrări miniere pe direcție și înclinare, care delimitează panouri de exploatare.

— *Metoda secțiunilor*, în special varianta cu secțiuni orizontale, care este folosită în cazul zăcămintelor cu grosime medie și mare, în cazul zăcămintelor masive (stock-uri) co-loane, sau lentile cu grosime mare, explorate la diverse nivele (orizonturi) prin lucrări miniere.

Varianta cu *secțiuni verticale* este folosită în cazul explorării prin foraje sau puțuri dispuse pe aliniamente combinate, eventual cu lucrări miniere orizontale.

— *Metoda poligoanelor*, numită și *metoda celor mai apropiate suprafețe*, care se folosește în cazuri mai rare, în situația când lucrările de cercetare nu sînt dispuse sistematic.

— *Metoda triunghiurilor*.

4.1. METODA BLOCURILOR GEOLOGICE

Pentru calculul rezervelor, suprafața corpului de substanță minerală (în proiecție orizontală sau verticală) se împarte într-o serie de figuri reprezentînd bazele unor poliedre echivalente cu părțile corespunzătoare din zăcămint (fig. XIV.1.).

Calculul rezervelor se face după cum urmează:

— Pentru un zăcămint unde nu s-a stabilit existența unor relații între conținut, grosime și masă volumetrică, valorile medii ale acestor parametri se calculează ca medie aritmetică simplă.

Cazul particular, cînd întreg zăcămintul reprezintă un singur bloc (fig. XIV.1.).

$$Q = V \cdot \bar{\gamma}_m$$

$$V = S \cdot \bar{g}_m$$

$$\bar{\gamma}_m = \frac{\sum \gamma_i}{n} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n}{n}$$

$$\bar{g}_m = \frac{\sum g_i}{n} = \frac{g_1 + g_2 + \dots + g_n}{n}$$

$$\bar{c}_m = \frac{\sum c_i}{n} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_n}{n}$$

unde: Q este cantitatea de rezervă, t; V — volumul rezervelor, m³; S — suprafața de calcul, m²; $\bar{\gamma}_m$ — masa volumetrică medie, t/m³; γ_i — masa volumetrică a fiecărei măsurători ($i = 1, \dots, n$), t/m³; \bar{g}_m — grosimea medie a blocului, m; g_i — grosimile măsurate în fiecare secțiune de probare, m; \bar{c}_m — conținutul mediu în component util, % sau g/t; c_i — conținutul în component util al probelor pe secțiuni de probare, % sau g/t; n — numărul punctelor de observație.

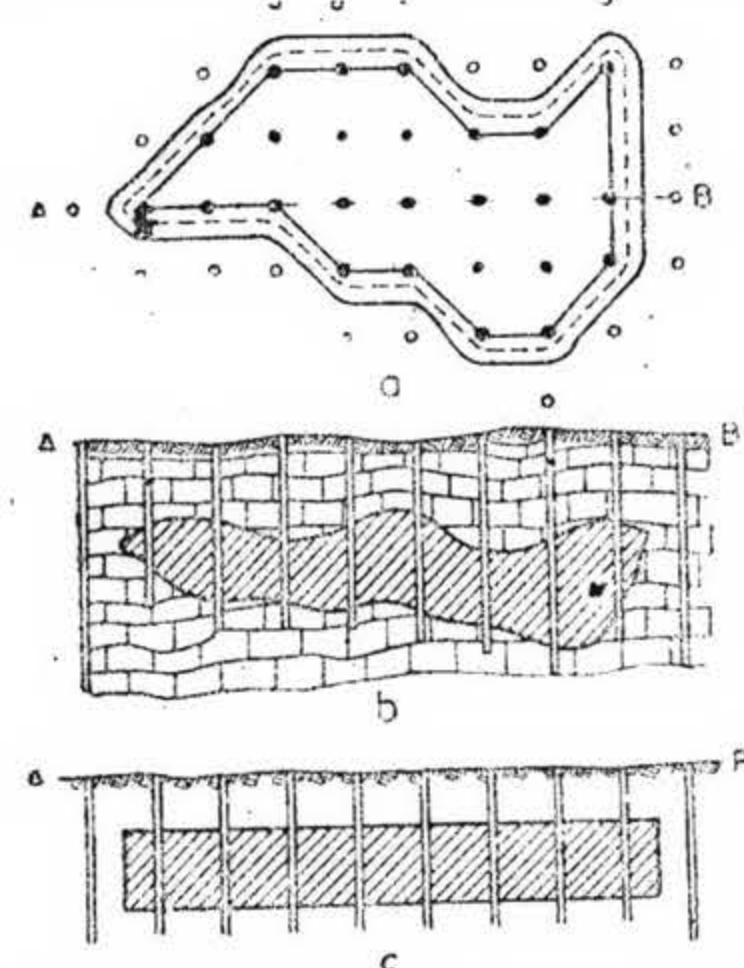


Fig. XIV.1. Schema transformării formei corpului de substanță minerală pentru calculul rezervelor prin metoda blocurilor geologice:

a — planul corpului de substanță minerală utilă conturat pe baza lucrărilor de explorare prin cele trei linii de contur (interior mediu și exterior); b — secțiune verticală, în corpul de substanță minerală utilă după direcția AB; c — schița corpului de substanță minerală utilă în secțiune verticală după direcția AB, după transformare (asimilare) într-un bloc cu înălțimea (grosimea) constantă.

— · — · — · — contur interior; — — — — contur mediu; ~ — contur exterior; ● — lucrări (foraje sau puțuri) care au intersectat zăcămintul; ○ — lucrări care nu au intersectat zăcămintul.

Determinarea masei volumetrică, a conținutului mediu pe un bloc sau pe întregul corp de substanță minerală se poate face folosind tabelul sinoptic XIV.5

Tabelul XIV.5

Stabilirea valorilor medii ale parametrilor de calcul al rezervelor

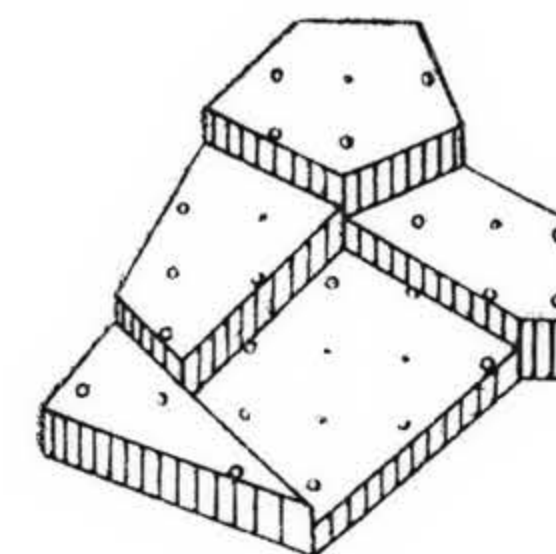
Nr. crt.	Lucrarea de explorare	Grosime, g [m]	Masă volumetrică, γ [t/m ³]	Conținut, c [%]
1	Foraj 1024	1,5	2,8	0,6
2	Foraj 1025	1,0	2,9	0,7
3	Foraj 1026	2,3	3,1	0,8
4	Foraj 1027	1,4	3,0	0,7
5	Puțul 1	0,8	2,7	0,
6	Puțul 2	0,7	2,7	0,4
	⋮	⋮	⋮	⋮
20	Foraj 2030	1,0	2,8	0,6
$\Sigma = 20$	Total	$\Sigma = 20,0$	$\Sigma = 60,0$	$\Sigma = 14,0$
	Mediu	$g_m = 1,0$	$\gamma_m = 3,0$	$c_m = 0,7$

Cazul mai multor blocuri încadrate în aceeași categorie de rezerve (fig. XIV.2);

$$Q = \sum Q_i = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$\bar{c}_m = \frac{\sum Q_i c_i}{\sum Q_i} = \frac{Q_1 c_1 + Q_2 c_2 + \dots + Q_n c_n}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}$$

Fig. XIV.2. Transformarea corpului de substanță minerală utilă în figuri echivalente alăturate (blocuri) de diferite mărimi, în vederea calculului rezervelor prin metoda blocurilor geologice.



unde: Q este cantitatea totală de rezerve, t; Q_i — cantitatea de rezervă a fiecărui bloc ($i = 1, \dots, n$); \bar{c}_m — conținutul mediu în component util sau dăunător, % sau g/t; c_i — conținutul mediu în component util sau dăunător al fiecărui bloc, % sau g/t; n — numărul blocurilor.

Determinarea conținutului mediu pe întregul zăcămint se poate face folosind tabelul XIV.6.

Folosind același tabel se poate determina și grosimea medie a zăcămintului și masa volumetrică medie dacă se solicită acest lucru de către beneficiar.

Tabelul XIV.6

Calculul conținutului mediu pe întregul zăcămint

Nr. crt.	Denumirea blocului	Cantitate de rezerve, Q_i [t]	Conținut mediu, c_i [%]	Putere (cantitate de metal) $Q_i \cdot c_i$ [kg sau t]
1	Bloc 1	5 000	0,8	40
2	Bloc 2	7 000	0,7	49
3	Bloc 3	10 000	1,0	100
4	Bloc 4	8 000	0,9	72
5	Bloc 5	4 000	1,2	48
...
10	Bloc 10	15 000	1,0	150
$\Sigma=10$	Total	100 000		900
Media			0,90	

— Pentru zăcămintele unde s-a stabilit existența unei relații directe sau inverse între conținutul în componenți utili și grosimea corpului de substanță minerală utilă, calculul conținutului în componenți utili al acestuia se determină nu ca medie aritmetică, ci ca medie ponderată cu grosimea măsurată în locul colectării probelor din zăcămint, folosindu-se formula:

$$\bar{c}_m = \frac{\sum c_i g_i}{\sum g_i}$$

în care: \bar{c}_m este conținutul mediu al componentului util sau dăunător, % sau g/t; c_i — conținutul în component util al fiecărei probe, % sau g/t; g_i — grosimile măsurate în fiecare probă (sau secțiune de probare), m.

Determinarea conținutului mediu al blocului prin ponderare după grosime se poate face folosind tabelul XIV. 7.

Metoda blocurilor geologice poate fi folosită — cu mici excepții — în toate cazurile, având grijă ca împărțirea pe blocuri să se facă pe baza unor criterii obiective, astfel încât însumarea blocurilor să nu influențeze asupra parametrilor care caracterizează calitatea medie a zăcămintului.

Metoda blocurilor geologice dă rezultate bune în următoarele cazuri:

- când există un număr mare de date referitoare la zăcămint;
- în cazul unei repartii uniforme a lucrărilor de explorare în limitele unui bloc geologic;

— când conținuturile în componenți utili și grosimile corpului de substanță minerală utilă variază puțin.

Avantajul metodei constă în simplitatea efectuării materialelor grafice și a calculelor.

Dezavantajele metodei constau în mica precizie a calculelor în cazul zăcămintelor complicate și în cazul repartizării neuniforme a lucrărilor de cercetare și de probare.

Tabelul XIV.7

Calculul conținutului mediu prin ponderare după grosime

Nr. crt.	Lucrarea de explorare	Grosime, g_i [m]	Conținut, c_i [%]	Produs $g_i \cdot c_i$
1	Puț 1	1,3	0,7	0,91
2	Puț 2	1,5	0,6	0,90
3	Sonda 1005	0,4	0,8	0,32
4	Sonda 1006	0,8	1,0	0,80
...
10	Puț 16	1,6	1,2	1,92
$n=2$	Total	12,0		12,0
	Medie		1,0	

4.2. METODA PANOURILOR SAU BLOCURILOR DE EXPLOATARE

Pentru calculul rezervelor, zăcămintul se împarte în panouri sau blocuri mărginite de lucrări miniere (galerii, suitori) sau pe baza unor delimitări care corespund viitoarelor limite ale panourilor de exploatare sau blocurilor (cazul extrapolării).

Această metodă este foarte mult folosită la calculul rezervelor zăcămintelor de substanțe minerale utile de formă filoniană sau de strate cu grosime mică la care exploatarea se face prin lucrări miniere (galerii direcționale și suitori). Corpul de substanță minerală utilă este împărțit prin lucrările miniere respective în porțiuni conturate pe 2—4 laturi (fig. XIV.3.).

Panourile sau blocurile de exploatare sînt, deci, niște paralelipede ale căror înălțimi sînt egale cu grosimea medie a corpului de substanță minerală cuprins în limitele stabilite, iar baza este suprafața blocului.

Rezervele de substanță minerală utilă se calculează mai întîi pe fiecare panou separat, apoi prin însumarea rezervelor tuturor panourilor se determină rezerva totală.

Construcția grafică pentru calculul rezervelor constă în reprezentarea proiecției lucrărilor miniere de explorare sau de exploatare care delimitează corpul de substanță minerală utilă pe panouri, luîndu-se ca bază datele topografice. Atunci cînd corpul de substanță minerală utilă are un unghi de înclinare mai mare de 45°, proiecția se construiește de obicei în planul vertical sau în planul zăcămintului.

Când unghiul de înclinare a corpului este mai mic de 45°, proiecția se construiește în plan orizontal.

Pe planurile cu proiecțiile lucrărilor care delimitează panourile se marchează numărul probelor, punctele de colectare a acestora din corpul de substanță minerală utilă.

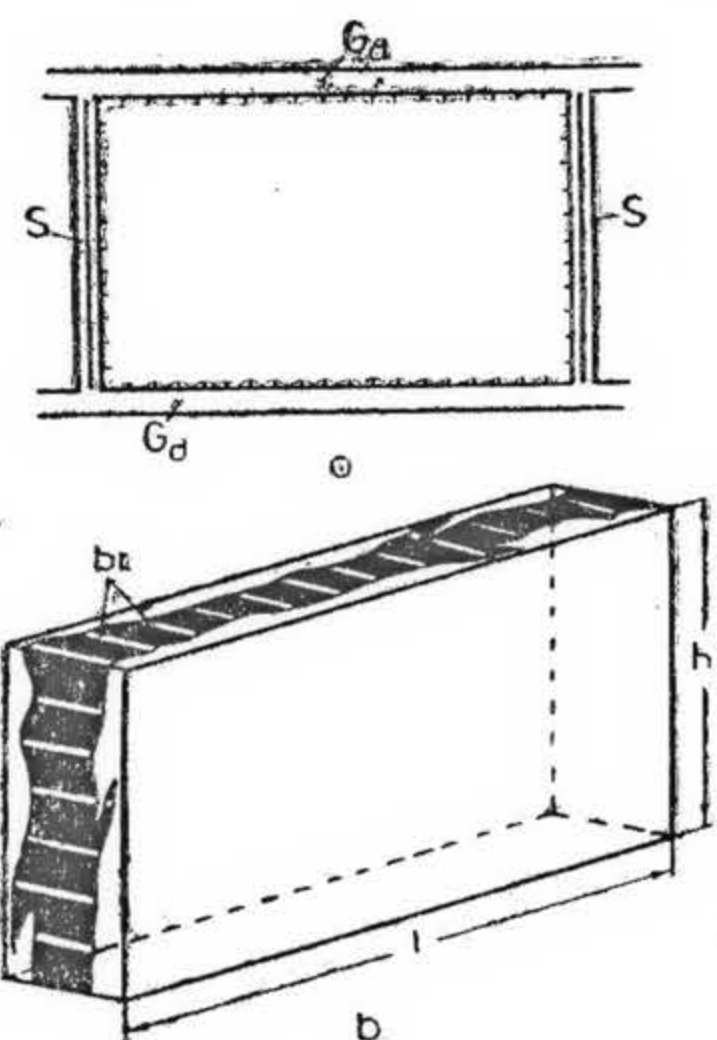


Fig. XIV.3. Schema unui bloc conturat pe patru laturi cu lucrări miniere:

a — proiecția blocului în planul filonului; s — suitoare; Gd — galerie direcțională; b — schema imaginii blocului; l — lungimea blocului; h — înălțimea blocului. br — brazde de probare.

$$\bar{\gamma}_m = \frac{\sum \gamma_i}{n}; \quad \bar{g}_m = \frac{\sum g_i}{n}; \quad \bar{c}_m = \frac{\sum c_i}{n};$$

unde: Q este cantitatea de rezerve, t; V — volumul rezervelor, m³; S — suprafața panoului în m², proiectată sau desfășurată; h — înălțimea panoului în m, măsurată pe verticală între două nivele (S proiectată) sau măsurată pe suitori (S desfășurată); l — lungimea panoului în m, măsurat între suitori pe plan (S proiectată) sau pe direcția galeriei (S desfășurată); $\bar{\gamma}_m$ — masa volumetrică medie a panoului, t/m³; γ_i — masa volumetrică (t/m³) determinată pe fiecare probă sau la a zecea sau douăzecea probă; \bar{g}_m — grosimea medie a panoului, m; g_i — grosimea corpului de substanță minerală utilă după rezultatele probării; \bar{c}_m — conținutul mediu al panoului în % sau g/t; c_i — conținutul fiecărei probe, % sau g/t; n — numărul de măsurări a grosimii, respectiv numărul probelor.

Important este ca secțiunile de probare (din acoperiș la culcuș) de unde în mod obligatoriu se măsoară și grosimile să fie perpendiculare pe suprafața care se introduce în calcul (proiectată, de regulă, sau desfășurată), iar în cazul când secțiunile apar sub un unghi față de plan, să se calculeze corecțiile respective, pe bază de formule trigonometrice sau construcții grafice. În mod curent, acest deziderat se urmărește încă din faza de explorare, probele fiind luate în poziție orizontală, perpendicular pe direcția medie a zăcămintului pentru corpurile cu înclinare mare (peste 45°) sau în poziție verticală pentru corpurile cu înclinare mică (sub 45°).

Calculul rezervelor se face individual, pe fiecare panou în parte, pe măsura executării lucrărilor și obținerii rezultatelor analizelor de laborator.

Calculul rezervelor se face după cum urmează:

a) Cazul, când grosimea corpului mineralizat este mică și nu depășește profilul lucrărilor miniere care delimitează panoul (blocul) (2 galerii direcționale amplasate la două nivele și 2 suitori amplasate la distanța de 50–100 m).

— În situația unei distribuții uniforme a probelor pe lucrările de contur și când componenții utili au o repartitie uniformă, în ipoteza că nu există nici o relație între conținutul și grosimea corpului de substanță minerală utilă, se poate aplica în calcul media aritmetică, după cum urmează:

$$Q = V \cdot \bar{\gamma}_m; \quad V = S \cdot \bar{g}_m; \quad S = h \cdot l;$$

Pentru ca datele medii obținute pe fiecare lucrare să poată fi folosite în panourile învecinate (fig. XIV.4), este indicat ca efectuarea calculului masei volumetrice, a grosimii și a conținutului să se facă astfel:

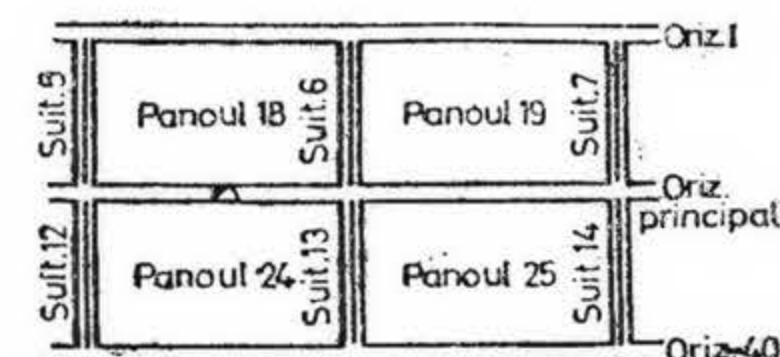
$$\bar{\gamma}_m = \frac{L_1 \bar{\gamma}_1 + L_2 \bar{\gamma}_2 + L_3 \bar{\gamma}_3 + L_4 \bar{\gamma}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$$\bar{g}_m = \frac{L_1 \bar{g}_1 + L_2 \bar{g}_2 + L_3 \bar{g}_3 + L_4 \bar{g}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$$\bar{c}_m = \frac{L_1 \bar{c}_1 + L_2 \bar{c}_2 + L_3 \bar{c}_3 + L_4 \bar{c}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$L_1 - L_4$ — reprezintă lungimea lucrărilor care delimitează panoul; $\bar{\gamma}_1 - \bar{\gamma}_4$ — masa volumetrică medie determinată pentru fiecare lucrare; $\bar{g}_1 - \bar{g}_4$ — grosimea medie determinată pentru fiecare lucrare; $\bar{c}_1 - \bar{c}_4$ — conținutul mediu pe fiecare lucrare.

Fig. XIV.4. Schema dispunerii blocurilor învecinate.



Când panoul este delimitat de un număr mai mic de lucrări, se iau în considerare datele obținute numai din lucrările executate, folosind aceleași formule simplificate.

— În situația când distanța dintre probe nu este egală, masa volumetrică, grosimea medie și conținutul mediu se determină prin ponderare ținând seama de lungimea de influență a fiecărei probe (l_i), după formulele:

$$\bar{\gamma}_m = \frac{\sum \gamma_i l_i}{\sum l_i}; \quad \bar{g}_m = \frac{\sum g_i l_i}{\sum l_i}; \quad \bar{c}_m = \frac{\sum c_i l_i}{\sum l_i};$$

în care: l_i este lungimea de influență, care se măsoară pe planuri și de obicei reprezintă jumătatea distanței de o parte și de alta a unei probe față de probele învecinate.

— În situația când există relație între grosime și conținut, la calcularea conținuturilor medii se aplică formulele:

$$\bar{c}_m = \frac{\sum c_i g_i}{\sum g_i},$$

dacă secțiunile de probare sînt echidistante și

$$\bar{c}_m = \frac{\sum c_i g_i l_i}{\sum g_i l_i},$$

dacă secțiunile de probare sînt amplasate la diferite distanțe

Desfășurarea calculelor pe tabele — în situația cea mai simplă — se prezintă în tabelele XIV.8 și XIV.9.

Tabelul XIV.8

Parametrii de calcul al rezervelor pe secțiuni de probare

Nr. crt.	Denumirea probei (secț. de probare)	Masă volumetrică, γ [t/m ³]	Grosime, g [m]	Conținut, c [%] sau [g/t]
1	Sect. 303	3,2	0,5	0,4
2	Sect. 304	3,0	1,0	0,3
.
.
100	Sect. 501	2,5	1,5	0,8
$n = 100$	Total	300	100	70
	Medie	3	1	0,7

Pentru ușurarea prezentării și verificării calculelor, tabelul XIV.9 poate fi împărțit în două, cantitatea de rezerve pe fiecare panou fiind înscrisă de două ori (coloană finală la primul tabel și cap de coloană la cel de al doilea).

Tabelul XIV.9

Parametrii de calcul al rezervelor pe panouri sau orizonturi

Nr. crt.	Panoul, orizontul	h [m]	l [m]	S [m ²]	g_m [m]	V [m ³]	γ [t/m ³]	Q [t]	c_m [%]	Putere (metal) $Q \cdot c$
1										
.										
.										
.										
25										
Total										
Medie										

Cînd calculele masei volumetrică, a grosimii medii și a conținutului mediu se fac pentru fiecare lucrare în parte, se introduce un tabel intermediar — tabelul XIV.10. Însumarea blocurilor se face după tabelul XIV.9 dat ca model.

Tabelul XIV.10

Parametrii de calcul al rezervelor după lucrarea de explorare

Lucrarea	Denumirea probei	Masă volumetrică, γ [t/m ³]	Grosime, g [m]	Conținut, c [%]
1				
.				
.				
.				
.				
50				
	Total			
	Medie			

Tabelul XIV.11

Parametrii de calcul al rezervelor pe lucrare de explorare și panou

Panou nr.	Lucrare		Masă volumetrică, γ		Grosime, g		Conținut, c	
	Poziție	[m]	[t/m ³]	Putere	[m]	Putere	[%]	Putere
1	L_1							
2	L_2							
3	L_3							
4	L_4							
	Total							
	Medie							

În situația cînd calculul masei volumetrică, grosimii medii și conținutului mediu se face ținînd seama de lungimea de influență, se pot prezenta calculele în tabelul XIV.12.

Atunci cînd există relație între grosime și conținut, în tabele se introduc coloane ajutătoare care să permită efectuarea calculelor prin medie ponderată.

Tabelul XIV.12

Parametrii de calcul al rezervelor după lungimea de influență

Nr. crt.	Denumirea probei (secțiunii de probare)	Lungimea de influență, l [m]	Masă volumetrică		Grosime		Conținut	
			γ [t/m ³]	Putere $\gamma \cdot l$	g [m]	Putere $g \cdot l$	c [%]	Putere $c \cdot l$
1	Sect. 303	10						
2	Sect. 304	15						
...								
...								
...								
100	Sect. 501	8						
	Total							
	Medie							

b) Cazul când grosimea corpului de substanță minerală utilă depășește lățimea galeriilor de explorare sau al zăcămintelor puternic tectonizate care nu pot fi urmărite continuu, calculul rezervelor prin metoda panourilor de exploatare se realizează pe baza datelor obținute din lucrările care traversează corpul de substanță minerală utilă din acoperiș pînă în culcuș (transversale, suitori, foraje; fig. XIV.5).

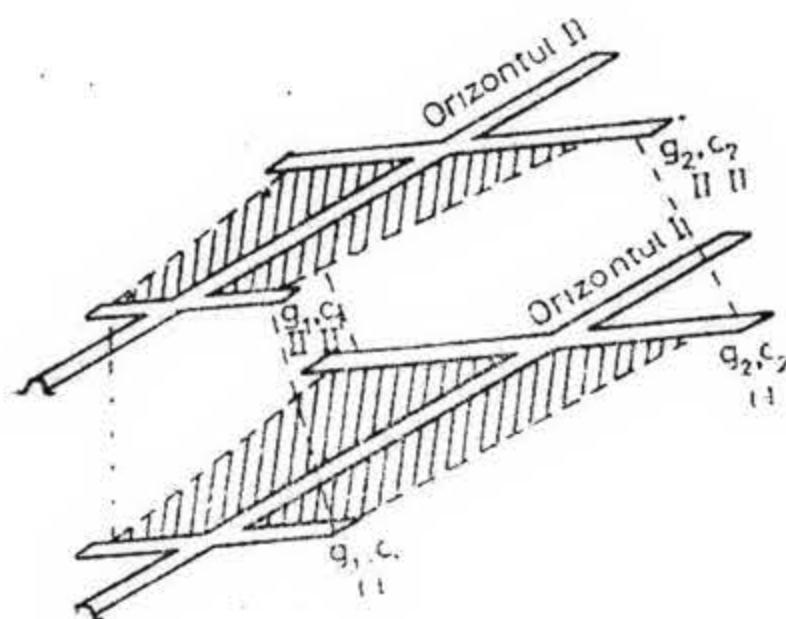


Fig. XIV.5. Schema conturării unui corp de substanță minerală utilă al cărui grosime depășește lățimea galeriei de explorare, în cazul calculului rezervelor prin metoda blocurilor de exploatare.

Desfășurarea calculului pe tabele se face ca și în primul caz, introducându-se tabele intermediare pentru calcularea masei volumetrice, a grosimii medii și a conținutului mediu pe fiecare lucrare în parte și apoi pe lațuri, însumând fiecare lucrare în parte

Extrapolarea datelor de la panourile cu lucrări efectuate și calculul rezervelor se poate face prin două procedee și anume:

— în trepte (fig. XIV.6, a) sau în pînză (fig. XIV.6, b).

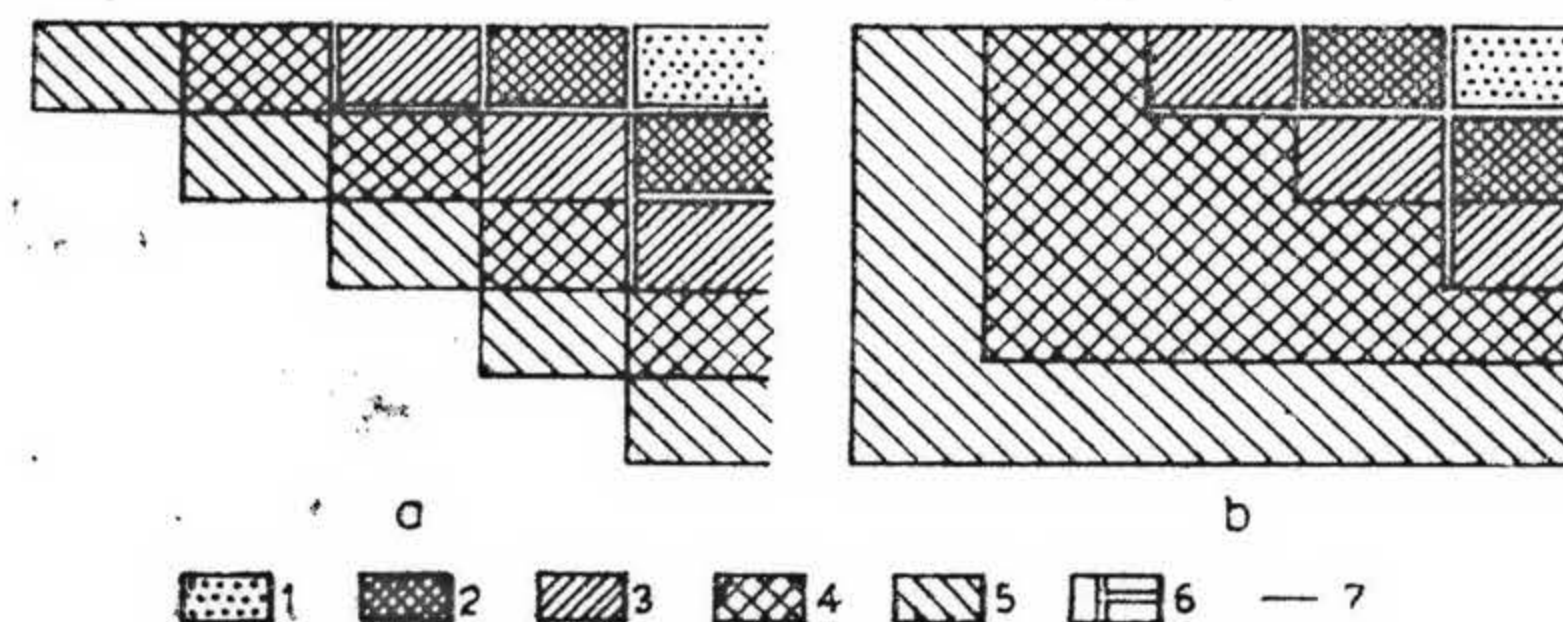


Fig. XIV.6. Schema de conturare a rezervelor extrapolate în adâncime:

a — în trepte; b — în pînză; 1 — porțiuni în exploatare; 2 — blocuri cu rezerve de categoria A; 3 — blocuri cu rezerve de categoria B; 4 — blocuri cu rezerve de categoria C₁; 5 — blocuri cu rezerve de categoria C₂; 6 — lucrări de explorare (galerii și suitori); 7 — conturul blocurilor.

Pentru fiecare caz în parte se pleacă de la considerente de ordin geologic, dînd o deosebită atenție variațiilor de grosime și conținut stabilite în diferite direcții ale zăcămintului (pe înclinare și pe direcție).

Metoda panourilor sau blocurilor de exploatare se aplică frecvent pentru calculul rezervelor corpurilor de substanțe minerale utile simple sau complexe, cînd acestea apar sub formă tabulară (filoane și strate).

Avantajele calculului rezervelor prin metoda panourilor sau blocurilor de exploatare sînt următoarele:

- simplitatea construcțiilor grafice și a tuturor operațiilor de calcul;
- calculul rezervelor poate fi folosit direct la planificarea și proiectarea lucrărilor de exploatare;

— permite separarea panourilor cu calități diferite ale substanței minerale utile. Dezavantajele metodei constau în următoarele:

- se poate aplica numai atunci cînd corpul de substanță minerală utilă a fost împărțit, prin lucrări miniere, în panouri;
- se poate aplica avantajos numai la zăcămintele de formă tabulară.

4.3. METODA SECȚIUNILOR

Metoda secțiunilor se poate aplica în situația cînd lucrările de explorare sînt amplasate pe anumite aliniamente, pe cît posibil paralele, pe o rețea cît mai uniformă; este necesar, de asemenea, ca lucrările să străbată în întregime corpul de substanță minerală utilă.

Se aplică atât la zăcămintele cercetate prin linii de explorare verticale, cât și la cele cercetate prin linii de explorare orizontale (pe orizonturi). Liniile de explorare care sectionează corpul de substanță utilă permit construcția secțiunilor geologice necesare calculului de rezerve.

După modul în care se execută secțiunile prin zăcămint, se disting două variante ale acestei metode:

— metoda *secțiunilor verticale*, care se aplică în situația când explorarea s-a făcut în mare parte prin foraje sau puțuri;

— metoda *secțiunilor orizontale* care se folosește atunci când explorarea s-a făcut în bună parte prin lucrări miniere și foraje amplasate la diferite nivele (orizonturi de explorare).

Secțiunile geologice împart corpul de substanță utilă în blocuri separate prin două plane de secțiune sau, în cazul blocurilor marginale, de un plan de secțiune și de suprafața neregulată a zăcămintului (fig. XIV.7).

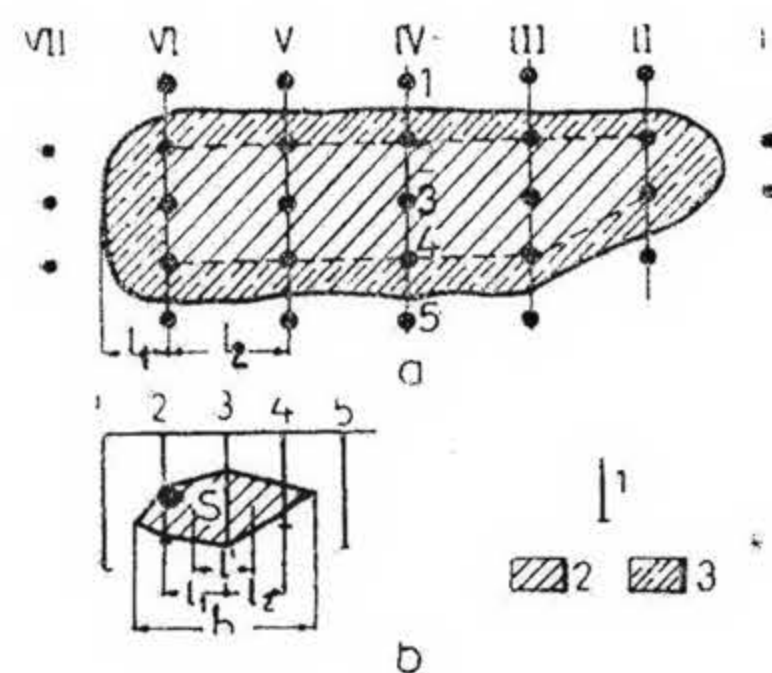


Fig. XIV.7. Schema dispunerii blocurilor de calcul în cazul rezervelor calculate prin metoda secțiunilor:

a — plan; b — secțiune pe linia IV; 1 — lucrări miniere de explorare; 2 — suprafața corpului de substanță minerală utilă; 3 — suprafața zonei exterioare.

Ambele variante de calcul au aceleași principii de calcul al rezervelor.

Rezervele de substanță și de componenți utili se determină pentru fiecare bloc separat.

Volumul blocului (V) se calculează ca produsul dintre suprafața unei secțiuni medii (S_{1-2}) și distanța (l_{1-2}), care se determină prin măsurarea distanței dintre secțiuni.

Suprafața secțiunii este indicat să se măsoare prin planimetrare sau cu ajutorul paletei; dacă secțiunea prezintă o formă mai regulată, aceasta se calculează cu formule geometrice.

Calculul volumului blocului se face folosind următoarele formule:

a) În cazul când suprafețele secțiunilor de substanță utilă care mărginesc blocul sînt aproximativ egale:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l_{1-2}$$

unde: V — reprezintă volumul blocului, m^3 ; S_1 și S_2 — suprafețele care delimitează blocul, m^2 ; l_{1-2} — lungimea (distanța) dintre secțiuni, m .

b) În situația când suprafețele care mărginesc blocul au o formă geometrică asemănătoare, iar ca mărime diferă una față de cealaltă cu peste 40%, se aplică formulele:

— trunchiul de con

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}}{3} \cdot l_{1-2}$$

— trunchiul de piramidă după procedeul grafic

$$V = k \cdot \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l_{1-2}$$

În care notațiile au aceeași semnificație ca mai sus, iar k este un coeficient de corecție care se determină cu ajutorul formulei:

$$k = \frac{2}{3} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{S_1}{S_2} + \frac{S_2}{S_1}}} \right)$$

Valoarea k în funcție de raportul $\frac{S_1}{S_2} = \alpha$ este dată în tabelul XIV.13.

Tabelul XIV 13.

Valoarea coeficientului de corecție k

$\alpha < 1$	$\alpha > 1$	Valoarea, k	$\alpha < 1$	$\alpha > 1$	Valoarea, k
1,0	1,0	1,000	0,033	30,0	0,785
0,71	1,4	0,995	0,025	40,0	0,770
0,50	2,0	0,980	0,020	50,0	0,760
0,33	3,0	0,955	0,017	60,0	0,751
0,25	4,0	0,933	0,014	70,0	0,745
0,20	5,0	0,915	0,010	100,0	0,733
0,143	7,0	0,888	0,007	140,0	0,724
0,100	10,0	0,859	0,005	200,0	0,714
0,083	12,0	0,845	0,003	300,0	0,706
0,071	14,0	0,833	0,0025	400,0	0,700
0,062	16,0	0,824	0,0020	500,0	0,696
0,050	20,0	0,809	0,0014	700,0	0,692
0,040	25,0	0,795	0,0010	1000,0	0,689

c) În cazul când secțiunile nu sînt paralele, calculul volumului se face astfel:

— dacă unghiul dintre secțiunile alăturate este mai mic de 10° :

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2}$$

unde : V reprezintă volumul blocului dintre secțiuni, m^3 ; S_1, S_2 — suprafețele secțiunilor, m^2 ; H_1, H_2 — lungimile perpendicularelor coborâte din proiecțiile centrelor de greutate ale suprafețelor, pe linia de explorare opusă, m ;

— dacă unghiul dintre secțiunile alăturate este mai mare de 10° se utilizează formula :

$$V = \frac{\pi}{\sin \alpha} \cdot \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2}$$

în care α este unghiul dintre secțiunile alăturate, măsurat în radiani.

La blocurile marginale care au numai o singură secțiune, volumul se determină în funcție de gradul de efilare a mineralizației (substanței utile), cu una din următoarele formule :

— formula trapezului

$$V = \frac{S_1 \cdot l_1}{2}$$

— formula conului

$$V = \frac{S_1 \cdot l_1}{3}$$

în care : V reprezintă volumul blocului, m^3 ; S_1 — suprafața secțiunii marginale; l_1 — distanța dintre suprafața secțiunii și planul de efilare a corpului de substanță minerală utilă.

Calculul conținutului mediu pe secțiuni se poate face prin trei procedee, în funcție de caracterul repartiției componentelor utili :

— *procedeul mediei aritmetice*, folosit în cazul când nu există dependență între conținut și grosimea corpului de substanță utilă;

— *procedeul mediei ponderate cu grosimea*, utilizat atunci când există dependență între grosime și conținut și când lucrările de explorare sînt uniform repartizate;

— *procedeul mediei ponderate cu grosimea și cu lungimea de influență a lucrărilor de explorare*, folosit în cazul când există dependență între grosime și conținut și când lucrările de explorare sînt repartizate neuniform.

Rezervele totale pe zăcămint se calculează prin însumarea rezervelor pe fiecare bloc în parte. Calculul conținutului mediu se face prin medie ponderată, ținînd seama de cantitatea de rezerve care revine fiecărui bloc.

Determinarea conținuturilor medii în componenți utili pe fiecare lucrare de explorare, după procedeul mediei aritmetice sau după procedeul mediei ponderate se face conform tabelelor XIV.14 și XIV.15, iar pe secțiuni conform tabelelor XIV.16 și XIV.17.

Conținutul mediu pe bloc se calculează prin ponderare cu ariile secțiunilor.

Tabelul XIV.14

Conținuturile și grosimile medii pe lucrări de explorare calculate prin media aritmetică

Numărul probei	Grosimea g [m]	Conținutul în componenți utili, c [%]
	Puțul de explorare nr. 12	
854	0,5	44,8
855	0,5	45,2
856	0,6	42,3
Pe lucrare minieră	1,6 Forajul nr. 81	44,1
1251	0,3	46,8
1252	0,5	41,2
1253	0,5	40,6
1254	0,5	43,1
Pe foraj	1,8	42,9

Tabelul XIV.15

Determinarea conținuturilor și grosimilor pe lucrări de explorare pe baza procedeului mediei ponderate

Numărul probei	Grosimea, g [m]	Conținutul în componenți utili, c [%]	Produsul dintre conținut și grosime ($g \cdot c$)	Conținutul mediu în componenți utili [%] $\frac{\sum g \cdot c}{\sum g}$
		Puțul de explorare nr. 25		
341	0,20	12,4	2,48	
342	0,50	8,5	4,25	
343	0,50	5,9	2,95	
344	0,40	9,1	3,64	
Pe lucrare minieră	1,60	— Forajul nr. 41	13,32	8,3
531	0,50	4,9	2,45	
532	0,30	18,2	5,46	
533	1,10	7,9	8,69	
Pe foraj	1,90	—	16,60	8,7

Tabelul XIV.16

Determinarea conținuturilor și grosimilor medii pe secțiuni, pe baza procedurii mediei aritmetice

Nr. crt.	Lucrări	Grosime, g [m]	Conținut în componenți utili, c [g/t sau %]
Secțiunea V-V			
1	Puțul nr. 4	0,90	15
25	Puțul nr. 5	0,20	54
...
20	Forajul nr. 49	0,75	36
Total	—	12,40	948

Numărul lucrărilor miniere (n) = 20; Grosimea medie pe secțiune (g) = $12,40/20 = 0,62$ m; Conținutul mediu pe secțiune (c) = $948/20 = 47,4$ g/t.

Tabelul XIV.17

Determinarea conținuturilor și grosimilor medii pe secțiuni, pe baza procedurii mediei ponderate

Nr. crt.	Lucrări	Grosime, g [m]	Conținutul mediu în comp. utili pe lucrare, c [g/t]	Lungimea de influență a lucrării, l [m]	Produsul $g \cdot l$	Produsul $g \cdot l \cdot c$	Conținutul mediu pe secțiune $\frac{\sum g l c}{\sum g l}$ [g/t]	Grosimea medie pe secțiune $\frac{\sum g l}{\sum l}$ [m]
Secțiunea V-V								
1	Puțul nr. 4	0,90	15	20	18	270		
2	Puțul nr. 5	0,20	54	24	4,8	259,2		
...		
16	Forajul nr. 49	0,75	36	15	11,25	405,0		
Total pe secțiune	—	—	—	256	221,8	9924,4	44,7	0,87

4.4. METODA POLIGOANELOR

Metoda poligoanelor este numită și *metoda celor mai apropiate suprafețe* (A. K. Boldîrev). Ea se bazează pe principiul extinderii caracteristicilor zăcămintului (grosimea corpului de substanță utilă, conținutul în metale etc.) cunoscute într-o lucrare de explorare (foraj vertical sau puț) asupra zonei de influență vecină.

Construcția suprafețelor apropiate se face în modul următor: fiecare lucrare de explorare se unește, pe planul pentru calculul rezervelor, prin linii drepte punctate, cu toate lucrările apropiate. Pe mijlocul segmentelor obținute se ridică perpendiculare (pentru ușurință se folosește un șablon special), care se întretaie și care formează în jurul fiecărei lucrări un poligon, ale cărui puncte se găsesc toate mai aproape de lucrarea amplasată în centrul lui decât de orice altă lucrare (fig. XIV. 8).

Trasarea poligoanelor se face, în general, în direcția mersului acelor ceasornicului, de la periferie spre centrul planului.

Împărțind în poligoane întreaga suprafață pentru care se calculează rezervele de substanță minerală utilă, zăcămintul se înlocuiește cu prisme poliedrice drepte, care au la bază poligoane. Fiecare din aceste prisme are înălțimea egală cu grosimea zăcămintului, măsurată în lucrarea din centrul poligonului. Fețele acestor prisme sînt plane verticale care trec prin laturile poligoanelor.

Astfel, calculul rezervelor prin această metodă înlocuiește forma reală a zăcămintului cu o figură geometrică, formată în plan din poligoane, iar în spațiu din poliedre (fig. XIV. 9).

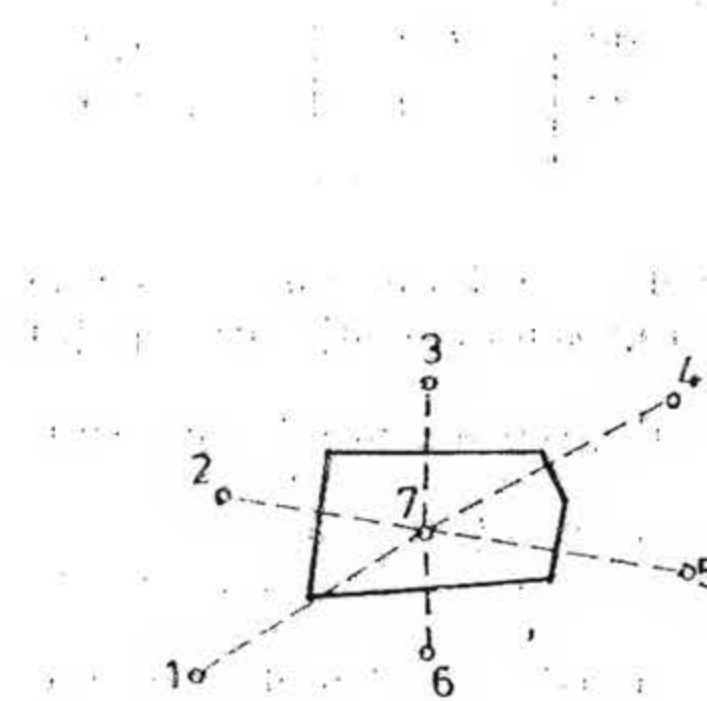


Fig. XIV.8. Trasarea suprafețelor blocurilor prin metoda punctelor celor mai apropiate.

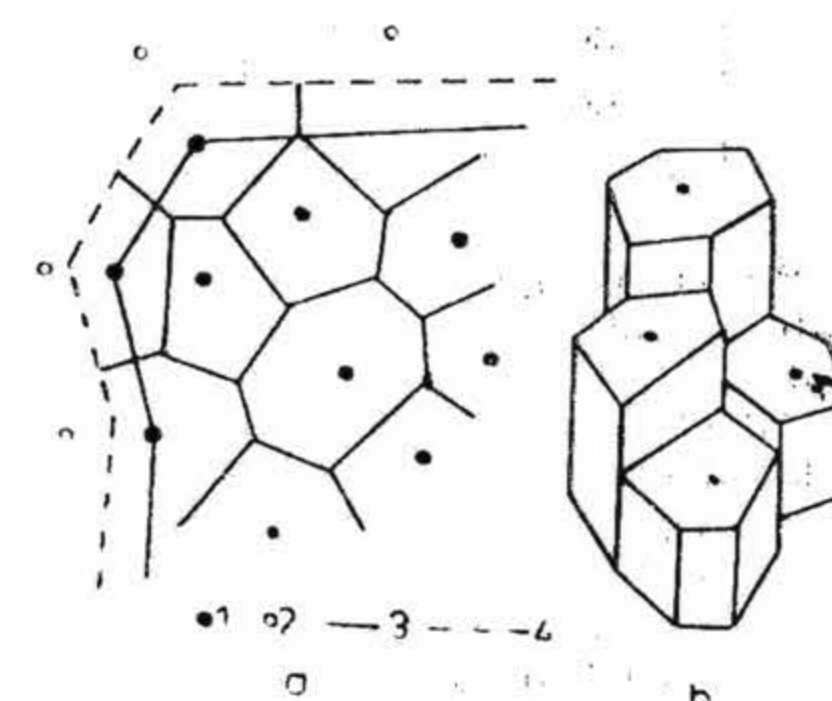


Fig. XIV.9. Calculul rezervelor prin metoda poligoanelor.

a — fragment din planul de calcul; b — un fragment din corpul de substanță minerală utilă transformat în prisme poligonale (perspectivă); 1 — sonde care au traversat corpul de substanță utilă; 2 — sonde care nu au interceptat substanța utilă; 3 — conturul interior; 4 — conturul exterior.

Rezervele se calculează pentru fiecare prismă în parte, după care se însumează rezervele tuturor prismelor, rezultând rezerva totală a zăcămintului.

Calculul rezervelor pentru fiecare prismă se face după cum urmează :

$$Q_1 = V_1 \cdot \gamma_1; \quad V_1 = S_1 \cdot g_1; \quad M_1 = \frac{Q_1 \cdot c_1}{100};$$

unde : Q_1 reprezintă cantitatea de rezervă a unei prisme, t; V_1 — volumul prisme, m^3 ; γ_1 — masa volumetrică, t/m^3 ; S_1 — suprafața poligonului în centrul căruia se află lucrarea, m^2 ; g_1 — grosimea zăcămintului măsurată în lucrarea respectivă, m; M_1 — metalul conținut în limitele prisme, t; c_1 — conținutul zăcămintului determinat în lucrarea respectivă, %.

Pentru însumarea rezervelor pe întregul zăcămint se poate folosi tabelul XIV. 18.

Tabelul XIV.18

Parametrii de calcul al rezervelor prin metoda poligoanelor

Numărul poligonului	Suprafața, S [m ²]	Grosimea, g [m]	Volumul, V [m ³]	Masa volumetrică, γ [t/m ³]	Rezervele de minereu [t]	Conținut mediu, c [%]	Rezerve de metal [t]
1	350	10	3 500	3,5	12 250	1,2	148,0
2	700	10	7 000	3,5	25 000	1,8	450,0
...
15	200	5	1 000	3,0	3 000	2,0	60,0
Total	6 500	8	52 000	3,0	156 000	2,0	3 120,0

Metoda poligoanelor se utilizează la calculul rezervelor zăcămintelor orizontale sau slab înclinate, explorate prin foraje sau prin puțuri, cu grosimi și conținuturi puțin variabile.

Calculul rezervelor prin metoda poligoanelor este avantajos prin simplitatea operațiilor de calcul și rapiditatea obținerii rezultatelor.

Metoda prezintă și o serie de neajunsuri dintre care se menționează :

- construirea prismelor poligonale denaturează forma reală a corpului de substanță minerală utilă;
- prismele poligonale nu pot reprezenta sectoare de exploatare; calculul rezervelor nu poate fi folosit la planificarea și proiectarea producției.

4.5. METODA TRIUNGHIURILOR

În această metodă toate lucrările se proiectează pe planul de calcul al rezervelor și fiecare lucrare se unește, prin linii drepte, cu lucrările vecine, în așa fel încât se obține o rețea de triunghiuri pe întreaga suprafață a zăcămintului (fig. XIV. 10).

Înălțimea muchiilor acestor prismе corespunde cu grosimea zăcămintului, măsurată în lucrările respective.

Calculul rezervelor pentru fiecare prismă se face după cum urmează :

$$Q_1 = V_1 \cdot \bar{\gamma}_1; \quad V_1 = S_1 \cdot \bar{g}_1; \quad S_1 = \frac{a_1 \cdot l_1}{2};$$

$$\bar{\gamma}_1 = \frac{1}{3} (\gamma' + \gamma'' + \gamma'''); \quad \bar{g}_1 = \frac{1}{3} (g_1' + g_1'' + g_1''');$$

unde : Q_1 reprezintă cantitatea de rezervă a unei prisme, t; V — volumul prisme, m^3 ; S_1 — suprafața bazei prisme, m^2 ; $\bar{\gamma}_1$ — masa volumetrică medie a celor trei lucrări, t/m^3 ; \bar{g}_1 — grosimea medie a celor trei lucrări, m; a_1 — latura de bază a triunghiului, m; l_1 — înălțimea triunghiului de bază, m;

$$M_1 = \frac{Q_1 \cdot \bar{c}_1}{100}; \quad \bar{c}_1 = \frac{1}{3} (c_1' + c_1'' + c_1''');$$

unde: M_1 este metalul conținut în limitele prisme, t;
 \bar{c}_1 — conținutul mediu al celor trei lucrări, g/t sau %.

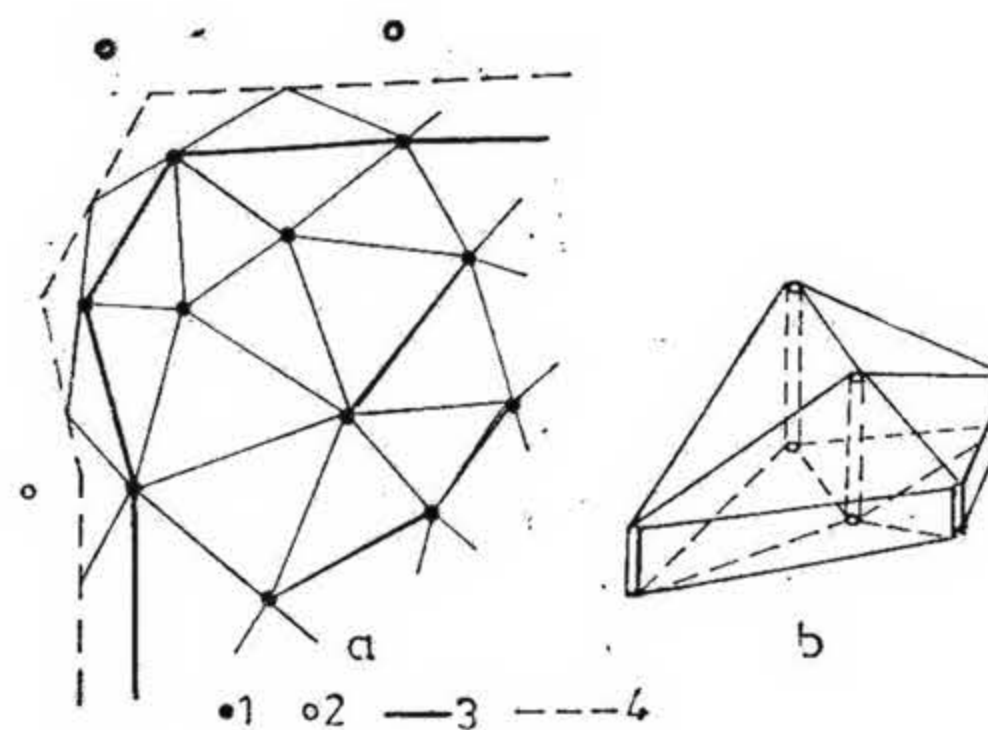


Fig. XIV.10. Calculul rezervelor după metoda triunghiurilor.

a — fragment din planul de calcul; b — un fragment din corpul de substanță minerală utilă văzut în perspectivă; 1 — sonde care au străbătut substanța minerală utilă; 2 — sonde care nu au interceptat corpul de substanță minerală utilă; 3 — conturul interior; 4 — conturul exterior.

5. METODE STATISTICE-MATEMATICE ȘI GEOSTATISTICE ÎN ESTIMAREA PARAMETRILOR DE CALCUL AL REZERVEI

Calitatea unei metode de estimare a rezervelor este determinată în primul rând de capacitatea ei de a ține seama de cât mai multe caracteristici geologice ale zăcămintelor. Metodele clasice au la bază ideea că în fiecare zăcămintă caracteristicile calitative și grosimea variază liniar. Evident, această ipoteză este valabilă extrem de rar, dar admiterea ei a condus la niște metode de calcul foarte simple, potrivite modului de lucru dinaintea utilizării calculatoarelor electronice. Pe lângă ipoteza simplistă a variației liniare, metodele clasice de estimare a rezervelor au devenit depășite și prin incapacitatea lor de a stabili gradul de precizie a rezervelor estimate.

Un prim pas în depășirea neajunsurilor metodelor clasice s-a făcut în perioada 1940–1950, prin utilizarea statisticii matematice, iar saltul mai important s-a produs în ultimele 3 decenii, prin utilizarea metodei geostatistice.

5.1. METODE STATISTICE-MATEMATICE

Metodele statistice-matematice consideră grosimea corpurilor de substanțe minerale utile și caracteristicile calitative ale acestora ca variabile aleatoare. Principalele proprietăți naturale ale zăcămintelor pe care le pune în evidență statistica matematică sînt: legea de distribuție statistică a caracteristicilor măsurate în diferite puncte, dispersia (gradul de variabilitate) acestora și dependența statistică (legătura corelativă) dintre diferitele caracteristici. Se vor prezenta unele din aplicațiile metodelor statistice-matematice care țin seama de caracteristicile menționate.

5.1.1 STABILIREA VALORII MEDII A PARAMETRILOR DE CALCUL ȚINÎND SEAMA DE LEGEA DE DISTRIBUIȚIE STATISTICĂ A ACESTORA

Fie X o caracteristică oarecare a unui zăcămintă (ex. grosime, caracteristică calitativă) ale cărei valori x_i se cunosc pe baza măsurătorilor sau a determinărilor pe probe. Dacă dintr-un zăcămintă s-ar recolta probe pînă la epuizarea rezervelor acestuia, valoarea medie x_0 calculată ar coincide cu cea reală. Mulțimea acestor probe constituie o colectivitate statistică. Din lucrările geologice se extrage un număr limitat de probe constituind o selecție, al cărei volum este neglijabil în raport cu colectivitatea statistică. Ca urmare, media valorilor determinate experimental, numită *medie de selecție*, nu coincide cu media colectivității statistice, deci nici cu media reală. În scopul reducerii diferenței dintre media de selecție (singura care poate fi calculată efectiv) și cea reală este indicat ca din distribuția empirică (distribuția datelor experimentale) să se deducă legea de distribuție statistică a colectivității, apoi să se calculeze media corespunzătoare acestei legi.

Fie distribuția empirică a variabilei X cea prezentată în tabelul următor:

Media clasei	x_1	$x_2 \dots x_n$
Frecvența relativă pe clase	f_1	$f_2 \dots f_n$

Media de selecție \bar{x} este dată de relația:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n f_i x_i$$

Pentru distribuția normală care este simetrică, media de selecție estimează absolut corect media colectivității generale. Numeroasele cercetări efectuate au arătat că, în majoritatea covârșitoare a cazurilor, distribuția caracteristicilor calitative ale zăcămintelor prezintă o asimetrie pozitivă (dreaptă), adică probele cu conținut mai mic decît media sînt mai frecvente, ca în fig. XIV. 11.

Fig. XVI. 11. Distribuția simetrică și asimetrică pozitivă.



Într-o distribuție asimetrică pozitivă, media de selecție supraestimează media colectivității generale ($\bar{x} > x_0$). Pentru diminuarea acestei surse de erori sistematice în plus, din datele experimentale se deduc legea de distribuție statistică a caracteristicii X , exprimată prin funcția de frecvență $f(x)$, cu ajutorul căreia se calculează media acestei colectivități, după formula:

$$x_0 = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} x f(x) dx$$

În principiu, pentru stabilirea funcției de frecvență se face o schimbare de variabilă $y = g(x)$, astfel ca variabila y să se supună unei legi de distribuție cunoscute. Dacă $F(y)$ este funcția de frecvență a variabilei y , atunci media x_0 este dată de relația:

$$x_0 = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} x F[g(x)] \frac{dg(x)}{dx} dx$$

Schimbarea de variabilă $y = (\log 100 x)^\alpha$ conduce la o distribuție normală a variabilei y prin alegerea convenabilă a exponentului α , ceea ce justifică denumirea de *distribuție log-normală generalizată* a variabilei x . La noi în țară există programe care asigură automatizarea completă a calculelor (schimbarea de variabilă, alegerea exponentului α , testarea normalității distribuției variabilei y și calculul mediei x_0). Experimentările făcute au arătat că în minereurile de metale neferoase media aritmetică supraestimează conținutul cu 5–10%.

5.1.2. UTILIZAREA ANALIZEI DE CORELAȚIE ÎN ESTIMAREA CONȚINUTULUI REZERVELOR

Adesea, între diferitele caracteristici ale zăcămintelor există o dependență statistică, numită *legătură de corelație*. Intensitatea legăturii de corelație se măsoară cu ajutorul coeficientului de corelație menționat la prelucrarea rezultatelor analizelor de control extern. Coeficientul de corelație r_{xy} dintre caracteristicile x și y variază între -1 și $+1$. Dacă $r_{xy} < 0$ corelația este inversă (când x crește y scade), iar dacă $r_{xy} > 0$ corelația este directă (y crește odată cu x). Se admite că legătura de corelație este suficient de puternică între x și y pentru a permite să se exprime y în funcție de x dacă $|r_{xy}| \geq 0,5$. În cele ce urmează se dau câteva exemple de legături de corelație.

— Între rezultatele analizelor de bază și de control extern (și intern) există o corelație directă puternică.

— La cărbuni, există o corelație inversă între conținutul în cenușă și puterea calorică și directă între conținutul în cenușă și greutatea volumetrică.

— În minereurile de metale neferoase, unele elemente disperse apar ca substituenți izomorfi în rețeaua cristalină a mineralelor elementelor de bază, ca de exemplu cadmiul în blendă, indiul în galenă și blendă, seleniul în pirită și calcopirită. În asemenea cazuri, conținutul în elemente disperse este în corelație directă cu metalul de bază respectiv (ex. cadmiul cu zincul).

— O legătură de corelație aparte o constituie corelația spațială. De exemplu, în zăcămintele de minereuri neferoase din eruptivul neogen Baia Mare apare o zonalitate pe verticală: minereu bogat în aur \rightarrow minereu polimetalic \rightarrow minereu de cupru. În asemenea cazuri, de exemplu, între conținutul de aur la un nivel și cota absolută există o corelație directă (conținutul în aur scade cu adâncimea).

Existența unei legături de corelație permite stabilirea expresiei matematice a dependenței statistice $y = f(x_1, \dots, x_m)$, numită *ecuație de regresie*. Cu ajutorul ecuației de regresie se poate stabili valoarea medie y . De exemplu, pentru calculul conținutului mediu în cadmiu se poate proceda astfel:

— pe baza analizării tuturor probelor pentru elementele utile principale se calculează conținuturile medii în Zn și Pb % pe fiecare panou;

— analizând 30–50 probe reprezentative pe întregul zăcămint atît pentru Zn, Pb cît și pentru cadmiu, se stabilește ecuația de regresie $Cd = f(Zn, Pb)$;

— înlocuind în ecuația de regresie conținuturile medii în Zn și Pb se obține conținutul mediu în Cd pe fiecare panou, chiar și pentru cele din care nu s-a analizat nici o probă pentru acest element.

Pentru ecuația de regresie se ia o funcție de forma:

$$y = a_0 + a_1 f_1(x_1, x_2, \dots, x_m) + \dots + a_p f_p(x_1, x_2, \dots, x_m)$$

unde $f_i(x_1, x_2, \dots, x_m)$ sînt funcții liniar independente și ele se aleg pe baza cunoașterii legăturii de variație a lui y în funcție de x_1, x_2, \dots, x_m . De exemplu, dacă se urmărește

stabilirea ecuației de regresie care exprimă puterea calorică inferioară (Q) în funcție de conținutul în cenușă la anhidru (A) al unui zăcămint de cărbune, se va lua o ecuație de regresie de forma $Q = a_0 + a_1 f(A)$, unde pentru $f(A)$ se va lua o funcție care să exprime faptul că Q descrește cînd A crește; ex. $Q = a_0 + a_1 e^{-A}$ (rezultînd $a_1 > 0$) sau $Q = a_0 + a_1 \ln A$, ori $Q = a_0 + a_1 A$ (rezultînd $a_1 < 0$).

Coeficienții a_0, a_1, \dots, a_p din ecuația de regresie se determină prin metoda celor mai mici pătrate, care conduce la sistemul:

$$\begin{vmatrix} n & f_{1i} & f_{2i} & \dots & f_{pi} \\ f_{1i} & f_{1i}^2 & f_{1i}f_{2i} & \dots & f_{1i}f_{pi} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{pi} & f_{pi}f_{1i} & f_{pi}f_{2i} & \dots & f_{pi}^2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_p \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} y_i \\ y_i f_{1i} \\ \dots \\ y_i f_{pi} \end{vmatrix}$$

unde cu $f_{ji} (j=1, 2, \dots, p)$ s-a notat simbolic expresia $\sum_{i=1}^n f_j(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi})$, iar x_{ki} și y_i

reprezintă valorile caracteristicilor x_{ki} și y_i pe proba i . Numărul total de probe este n .

Utilizarea analizei de corelație conduce la realizarea unor economii importante în cercetarea geologică, prin reducerea substanțială a numărului de determinări pentru caracteristicile care depind statistic de altele.

5.2. METODA GEOSTATISTICĂ

Geostatistica constituie aplicarea la fenomenele geologice a teoriei variabilelor regionalizate, elaborată de George Matheron. Orice caracteristică a zăcămintelor de substanțe minerale utile care se exprimă numeric este o variabilă regionalizată (ex.: grosimea unui strat, filon sau unei lentile, caracteristicile calitative etc.).

Variabilelor regionalizate li se asociază două noțiuni de *localizare*: *cîmpul sau domeniul geometric* și *suportul geometric*. Prin cîmp sau domeniu geometric se înțelege partea dintr-un zăcămint în care se studiază o variabilă regionalizată. De exemplu, dacă un zăcămint este format din 30 de filoane și se studiază conținutul în plumb pe un singur filon, domeniul geometric al variabilei regionalizate (conținut în plumb) este filonul respectiv. Suportul geometric al unei variabile regionalizate este elementul spațial pe care sînt definite valorile sale. De exemplu, în cazul unui zăcămint cuprififer de tip porfiric, cercetat cu lucrări miniere din care s-au recoltat probe brazdă de cîte 1 m lungime, suportul geometric al conținutului în cupru pe probe este brazda de o formă, mărime și orientare dată. Schimbînd domeniul geometric și/sau suportul geometric se obține o nouă variabilă regionalizată care prezintă anumite analogii cu prima, dar nu coincide cu ea. De exemplu, dispersia unei variabile regionalizate crește atunci cînd domeniul geometric se mărește sau suportul geometric se micșorează. Unele variabile regionalizate sînt de *suport punctual* ca de exemplu grosimea unui strat sau a unui filon, cota culcușului unui strat de cărbune etc. Ținînd seama că volumul unei probe geologice este neglijabil în raport cu volumul rezervelor unui zăcămint, adesea se admite practic că și conținutul probelor este de suport punctual.

5.2.1. FUNCȚIILE SEMIVARIOGRAMĂ ȘI COVARIOGRAMĂ

Ideia centrală a geostatisticii este corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, adică faptul că, în medie, între valorile unei variabile regionalizate, măsurate în două puncte, există o similitudine cu atât mai mare sau o deosebire cu atât mai mică, cu cât cele două puncte sînt mai apropiate. Pentru exprimarea numerică a intensității acestei similitudini, respectiv deosebiri, G. Matheron a definit funcția covariogramă, respectiv semivariogramă. Fie M un punct din domeniul geometric al unei variabile regionalizate și $f(M)$ valoarea ei în acest punct. Notăm simbolic cu $M + h$ extremitatea vectorului h cu originea în M și cu m valoarea medie a variabilei regionalizate în domeniul său geometric, de volum V .

Covariograma este definită de relația :

$$G(h) = \frac{1}{V} \int_{(V)} [f(M+h) - m] \cdot [f(M) - m] dV$$

iar semivariograma prin relația :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2V} \int_{(V)} [f(M+h) - f(M)]^2 dV$$

Se observă ușor că $G(0)$ coincide cu dispersia variabilei regionalizate și că între covariogramă și semivariogramă există relația :

$$G(h) = G(0) - \gamma(h)$$

Dublul semivariogramei, $2\gamma(h)$, se numește *variogramă* și ea reprezintă varianța erorii care se comite cînd valoarea $f(M)$ a variabilei regionalizate se atribuie și punctului $M + h$, situat la distanța h de M .

O variabilă regionalizată este *staționară* dacă semivariograma depinde numai de mărimea și direcția vectorului h și *nestaționară* dacă semivariograma depinde și de poziția vectorului în spațiu, adică și de originea sa. În cazul nestaționară apar și schimbări sistematice ale variabilei regionalizate în spațiu, numite *tendință*; de exemplu creșterea conținutului cu adîncimea, scăderea conținutului de la centru spre periferia unui zăcămint.

5.2.2. VARIABLE REGIONALIZATE STAȚIONARE. PRINCIPALELE CARACTERISTICI ALE MINERALIZAȚIEI PUSE ÎN EVIDENȚĂ DE SEMIVARIOGRAMĂ

Semivariograma pune în evidență principalele caracteristici ale zăcămintelor, care influențează rețeaua lucrărilor geologice și gradul de precizie al rezervelor estimate. Printre aceste caracteristici menționăm : continuitatea, gradul de variabilitate, raza de influență și anizotropia.

Continuitatea mineralizației este dată de comportarea semivariogramei în jurul originii (h foarte mic). Sub aspectul continuității se disting trei tipuri de variabile regionalizate : *continuu*, *liniar* și *discontinuu* (efect de pepită), reprezentate în fig. XIV.12.

Primul caz este caracterizat printr-o curbă tangentă în origine la axa oh și reprezintă un înalt grad de continuitate. Acesta ar fi cazul grosimii unor strate de cărbuni.

Tipul liniar, cu tangenta în origine oblică, denotă o mineralizație cu o continuitate în medie. Acest caz se poate întîlni la conținutul în metale feroase și neferoase.

Tipul al treilea reprezintă o discontinuitate accentuată, cu apariția efectului de pepită, și este frecvent la zăcămintele aurifere cu iviri de aur vizibil. De menționat că efectul de pepită nu exprimă doar variațiile locale mari, ci și erorile comise la recoltarea, prelucrarea și analizarea probelor geologice. Așa se explică faptul că efectul de pepită apare și în zăcămintele de minereu polimetalic.

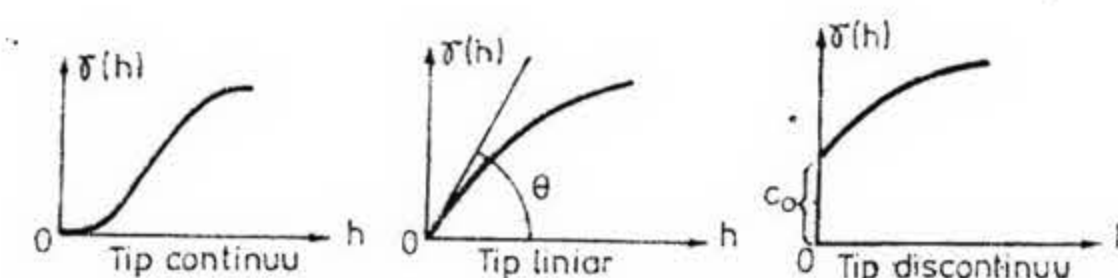


Fig. XIV.12. Tipuri de semivariograme sub aspectul continuității.

Gradul de variabilitate a mineralizației este dat de înălțimea curbei față de axa orizontală, adică de dispersia caracteristicii studiate (σ^2).

Exprimînd cantitativ corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, semivariograma dă un sens concret noțiunii de *rază de influență* a unei probe sau a unei lucrări, permițînd determinarea ei efectivă în metri. Recoltînd probe sau executînd lucrări cu distanța h între ele, este foarte natural să ne așteptăm ca în urma repetării procesului, cele două probe sau lucrări să indice, în medie, valori cu atât mai apropiate ale unei caracteristici, cu cît h este mai mic. Pe măsură ce această distanță crește, corelația devine tot mai slabă, iar peste o anumită limită valorile din cele două puncte devin statistic independente. Distanța maximă a pînă la care valorile unei caracteristici sînt corelate și peste care ele devin statistic independente se numește *rază de influență*. Raza de influență este principala proprietate a unui zăcămint care influențează distanța necesară între lucrările geologice, ea crescînd proporțional cu raza de influență.

Semivariograma scoate în evidență și *anizotropia* mineralizației. În unele zăcămintele, variația mineralizației este aceeași în toate direcțiile. În aceste cazuri spunem că variabila regionalizată studiată și semivariograma ei sînt *izotrope*. Adesea apar variații deosebite ale mineralizației în diferite direcții. În asemenea situații, mineralizația este *anizotropă*. Anizotropia zăcămintelor impune distanțe deosebite dintre lucrările de cercetare geologică în diferite direcții.

Caracteristicile principale ale mineralizației unui zăcămint, puse în evidență de semivariogramă, au o influență determinantă asupra desimii necesare a lucrărilor de cercetare geologică și a gradului de precizie al rezervelor estimate. Pentru a ilustra influența fiecăreia, se vor compara succesiv cîte două zăcămintele în care o caracteristică se schimbă, iar celelalte trei rămîn neschimbate. În prezentarea acestor influențe se are în vedere faptul că semivariograma măsoară discordanța dintre valorile unei caracteristici în două puncte situate la distanța h unul de altul, că aceasta este varianța unei erori de estimare. În fig.

fig. XIV.13 se reprezintă semnificația unora din caracteristicile puse în evidență de semi-variogramă și de covariogramă, referirile făcându-se la un model cu plafon.

Fie două zăcăminte cu același grad de variabilitate a mineralizației (plafonul comun), raze de influență egale și izotrope, dar cu continuitatea diferită (fig. XIV.14).

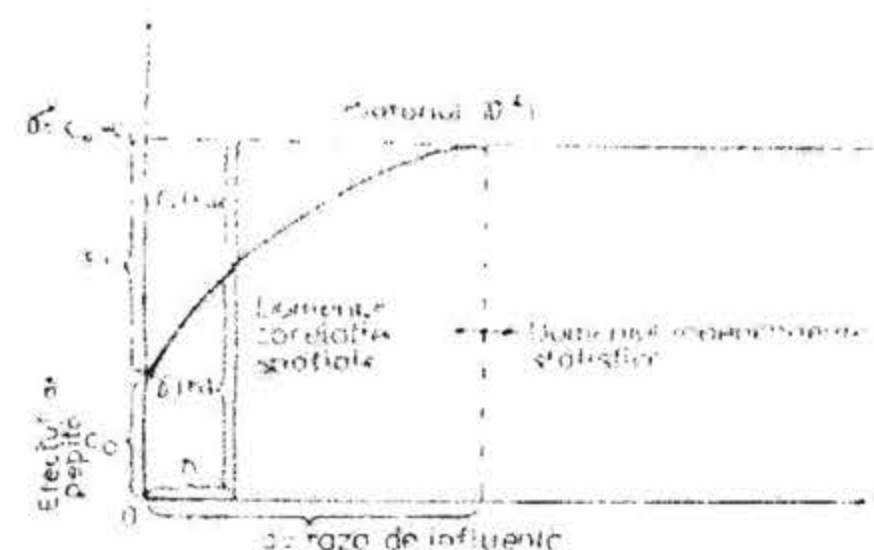


Fig. XIV.13. Caracteristicile puse în evidență de semi-variogramă și de covariogramă la un model cu plafon.

Din fig. XIV.14, *a* rezultă că la aceeași distanță *h* dintre lucrări, în zăcămintul 1 rezervele se obțin cu o eroare de estimare mult mai mică decât în zăcămintul 2. Invers, pentru comiterea aceiași erori de estimare a rezervelor, în cadrul zăcămintului 2 lucrările trebuie executate la distanțe (*d*₂), mult mai mici decât în zăcămintul 1 (*d*₁), (fig. XIV.14, *b*).

Considerând gradul de variabilitate diferit, se poate constata influența lui asupra desimii lucrărilor geologice și a varianței erorii de estimare a rezervelor, ca în fig. XIV.14, *c*.

Rolul hotărâtor al razei de influență este ilustrat în fig. XIV.14, *d* și XIV.14, *e*.

Anizotropia mineralizației impune distanțe deosebite între lucrările geologice în diferitele direcții ale zăcămintului. În cazul unui zăcămint tabular, dacă razele de influență în direcțiile principale de variație a mineralizației sînt *a_x* și *a_y*, atunci distanțele necesare între lucrările geologice pe cele două direcții (*d_x* și *d_y*) trebuie să fie în proporția

$$\frac{d_x}{d_y} = \frac{a_x}{a_y}.$$

5.2.3. CALCULUL SEMIVARIOGRAMEI EXPERIMENTALE

Așa cum a fost definită, semi-variograma nu poate fi determinată direct. Din datele obținute în lucrările de cercetare geologică se obține un estimator al semi-variogramei, numit *semi-variogramă experimentală*.

În vederea calculării semi-variogramei experimentale se procedează în felul următor :

— se stabilesc direcțiile în care urmează a se calcula semi-variograma experimentală ; în cazul zăcămintelor tabulare se alege cel puțin două direcții, iar la zăcămintele izometrice cel puțin trei direcții ; la alegerea acestor direcții trebuie avut în vedere atât modul de variație a mineralizației cît și amplasamentul lucrărilor geologice ;

— pentru fiecare direcție în care urmează să se calculeze semi-variograma experimentală se fixează lungimea minimă *d* și maximă *D* a vectorului *h* ; distanța minimă variază în funcție de metodica de cercetare și ea nu poate fi mai mică decît distanța medie

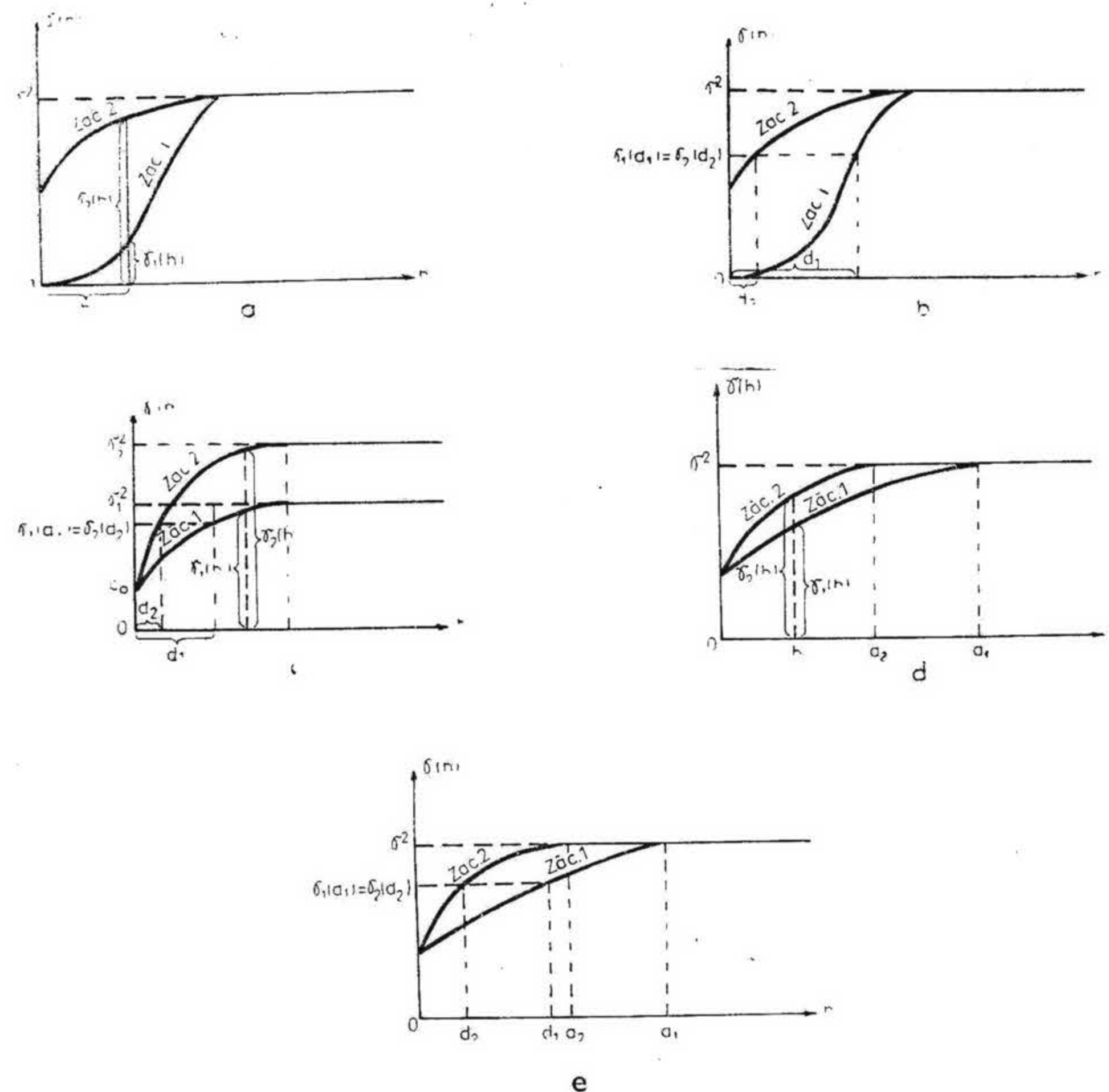


Fig. XIV.14. Influența caracteristicilor puse în evidență de semi-variogramă asupra gradului de precizie al rezervelor și a densității lucrărilor geologice :

a — influența continuității mineralizației asupra gradului de precizie a rezervelor geologice ; *b* — influența continuității mineralizației asupra densității lucrărilor geologice ; *c* — influența gradului de variabilitate a mineralizației asupra densității lucrărilor geologice și a preciziei estimării rezervelor ; *d* — rolul razei de influență privind eroarea de estimare a rezervelor ; *e* — rolul razei de influență privind densitatea lucrărilor geologice.

dintre lucrările pe direcția respectivă; distanța maximă variază între dimensiunea maximă a unei unități de calcul și $1/2$ din extinderea zăcămintului pe direcția considerată; semivariograma se calculează pentru distanțele $h_i = id$, unde i variază între 1 și o valoare maximă pentru care $h_i \leq D$;

— lucrările geologice nu se execută, de regulă, rigid pe aceeași direcție și la distanțe fixe între ele, de aceea se adoptă, pentru fiecare direcție j , toleranțe de direcție $\Delta\theta_{ji}$ și de distanță Δd_{ji} , separat pe distanțe h_i ;

— semivariograma în direcția θ_j , pentru distanța h_i , se calculează cu ajutorul formulei:

$$\gamma(h_i, \theta_j) = \frac{1}{2n_{ij}} \sum_x [f(x + h_i) - f(x)]^2$$

în care n_{ij} reprezintă numărul perechilor de lucrări sau probe care se înscriu în direcția θ_j și distanța h_i .

Semivariograma experimentală se obține sub formă tabelară, cu valorile pentru fiecare distanță în cadrul direcțiilor luate în considerare.

5.2.4. MODELAREA SEMIVARIOGRAMEI EXPERIMENTALE

Semivariograma experimentală prezintă două neajunsuri în utilizarea ei directă la estimarea rezervelor:

— valorile sale se cunosc doar în 2—3 direcții și în fiecare direcție numai pentru anumite distanțe h ; în procesul estimării rezervelor sînt necesare valorile semivariogramei pentru orice direcție și distanță;

— semivariograma experimentală prezintă o serie de fluctuații datorate compo-nentei aleatoare din variația mineralizației.

Datorită acestor motive este necesar ca din valorile semivariogramei experimentale să se deducă un model, numit *semivariogramă teoretică*, care să elimine variațiile aleatoare și să ia valori cât mai apropiate de cele experimentale. În fig. XIV.15 se reprezintă schematic o semivariogramă experimentală și modelul teoretic corespunzător.

La modelarea semivariogramei experimentale trebuie avute în vedere următoarele:

— alegerea modelului de semivariogramă teoretică;

— determinarea parametrilor semivariogramei teoretice, astfel ca să treacă cât mai aproape de punctele semivariogramei experimentale.

În vederea alegerii modelului semivariogramei teoretice se reprezintă grafic punctele semivariogramei experimentale în același sistem de axe, trasîndu-se și plafonul (dreapta orizontală la distanța σ^2 de axa oh). Pentru modelul teoretic se alege una din funcțiile $\gamma(h)$ descrise în literatura de specialitate.

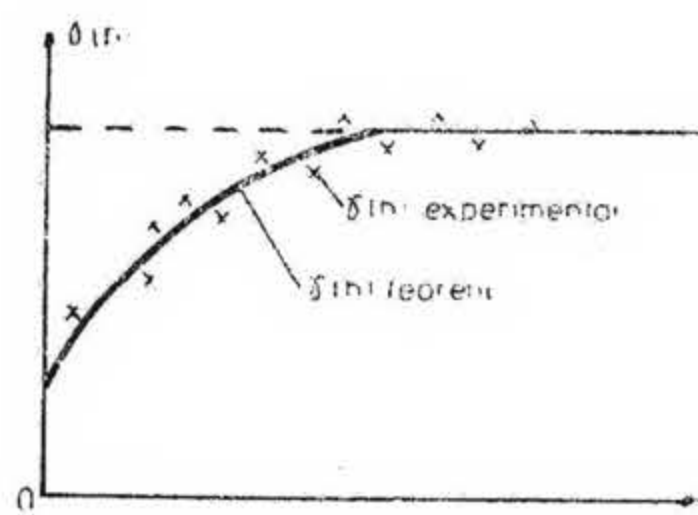


Fig. XIV.15. Modelarea semivariogramei experimentale.

5.2.4.1. Mineralizații izotrope

Adesea, mineralizația se comportă aproximativ la fel în toate direcțiile. Acest lucru este pus în evidență de faptul că valorile semivariogramei pentru aceeași distanță h , calculate în diferite direcții, sînt aproximativ egale. În asemenea cazuri spunem că variabila regionalizată studiată este izotropă. Din valorile semivariogramei experimentale, calculate în 2—3 direcții, se calculează una medie, prin ponderare după numărul perechilor de puncte, separat pentru fiecare lungime h , ca în exemplul din tabelul XIV.19.

Tabelul XIV.19

Calculul semivariogramei experimentale medii

Dis-tanța h_i	Direcția 1		Direcția 2		Direcția 3		Media	
	n_{i1}	$\gamma_1(h_i)$	n_{i2}	$\gamma_2(h_i)$	n_{i3}	$\gamma_3(h_i)$	n_i	$\gamma(h_i)$
25	520	0,04	570	0,06	85	0,05	1175	0,0504
50	500	0,12	550	0,10	80	0,11	1130	0,1152
75	470	0,18	520	0,17	77	0,18	1067	0,1751
100	420	0,21	500	0,20	72	0,21	992	0,2050

În acest exemplu, $\gamma(50)$ a rezultat în felul următor:

$$\gamma(50) = \frac{500 \cdot 0,12 + 550 \cdot 0,10 + 80 \cdot 0,11}{500 + 550 + 80} = 0,1152$$

Se subliniază că o semivariogramă medie numai atunci se poate calcula cînd din tabele și mai ales din grafice rezultă că în toate direcțiile semivariograma experimentală este aproximativ aceeași, adică este izotropă.

Semivariograma teoretică, în cazul izotrop, este de forma:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \gamma_1(h)$$

unde C_0 și C_1 sînt constante iar $\gamma_1(h)$ este o funcție de h care mai poate depinde și de un parametru, notat de regulă cu a . După tipul funcției $\gamma_1(h)$, din literatura de specialitate și din numeroase aplicații practice realizate pe plan mondial și la noi în țară au rezultat următoarele modele principale de semivariogramă teoretică:

Modele cu plafon. Sînt cele în care semivariograma se stabilizează în jurul plafonului. Dintre acestea cel mai important este *modelul sferic al lui Matheron*, cu expresia:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & \text{pentru } h < a \\ C_0 + C_1 & \text{pentru } h \geq a \end{cases}$$

Acesta este modelul care apare în marea majoritate a zăcămintelor. Semnificația parametrilor C_0 , C_1 și a rezultă din fig. XIV.16, a.

Un alt model cu plafon este cel *exponențial*, cu expresia :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1(1 - e^{-\frac{h}{a}})$$

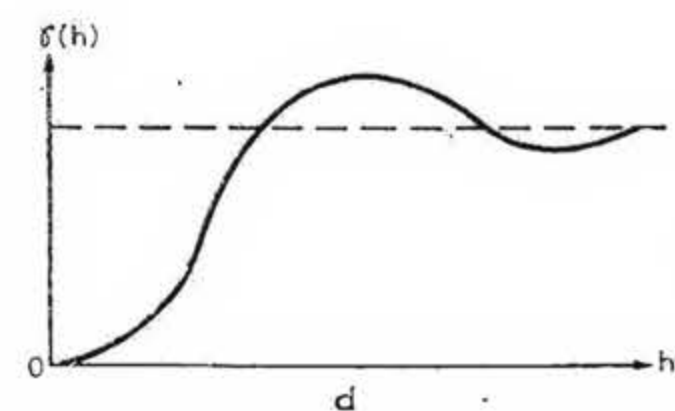
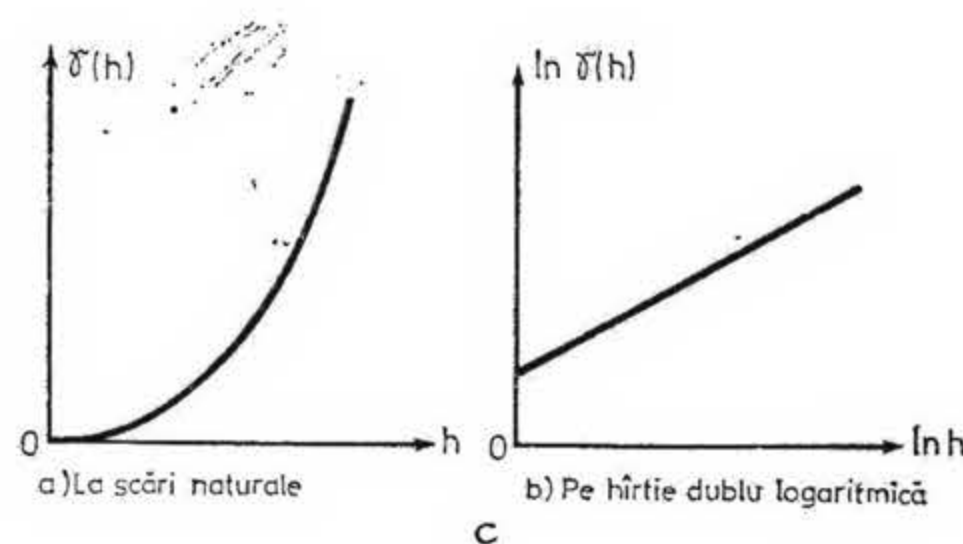
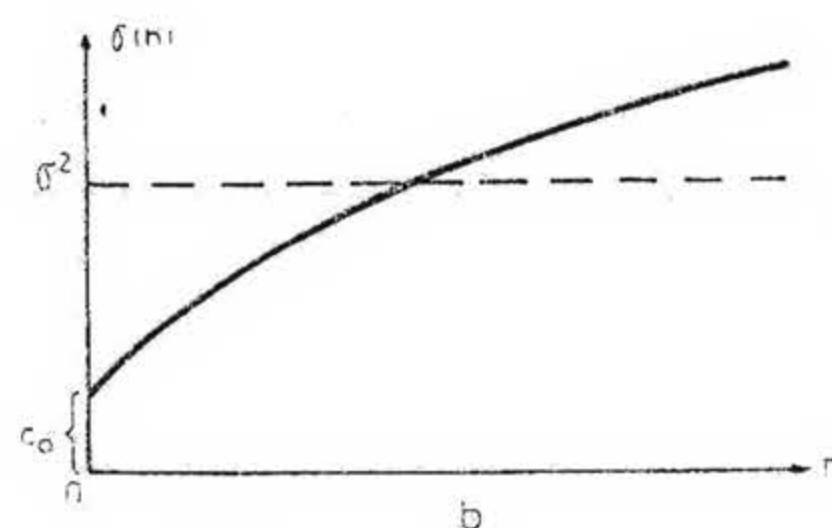
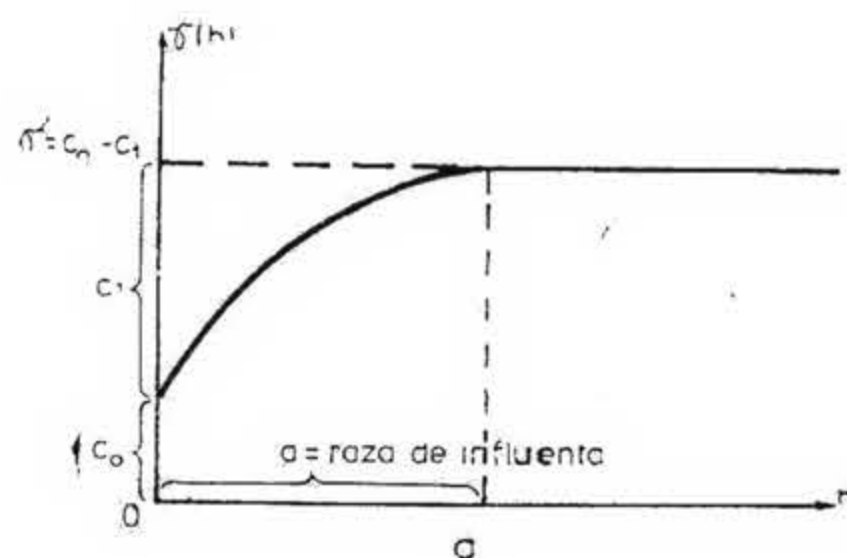


Fig. XIV.16. Modele de semivariogramă teoretică :

a — model sferic; b — model logaritmic; c — model parabolic; d — model sinusoidal.

al cărui grafic diferă de cel al modelului sferic doar prin faptul că curba $\gamma(h)$ atinge asimptotic plafonul σ^2 .

Un model extrem este cel *aleator*, cînd, de la început, semivariograma oscilează în jurul plafonului, deci are expresia analitică :

$$\gamma(h) = \sigma^2$$

Modelul aleator poate apare doar în cazul unor zăcămintele cu o distribuție pur aleatoare a componentelor utili, cum ar fi unele zăcămintele cu aur nativ. În asemenea situații, și numai în acestea, geostatistica conduce la aceleași rezultate ca și metodele statistice-matematice. Întrucît lipsește complet corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, nu se pot calcula conținuturi medii pe unități de calcul, ci doar pe total corp de substanță minerală utilă.

Modele fără plafon. Sînt cele în care semivariograma crește mereu, depășind plafonul σ^2 . În asemenea cazuri se adoptă unul din următoarele modele :

Modelul De Wijs (logaritmice) are expresia analitică :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \ln h \quad (h \geq 1)$$

Acest model poate fi recunoscut după faptul că pe hîrtie semilogaritmică $[\ln h; \gamma(h)]$ punctele semivariogramei experimentale se distribuie aproximativ pe o linie dreaptă.

Grafic, acest model apare ca în fig. XIV.16, b.

Modelul liniar în care punctele semivariogramei experimentale sînt aproximativ pe o dreaptă în sistemul de axe $[h, \gamma(h)]$ și are expresia analitică :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 h$$

Cu titlu informativ se mai prezintă două modele, cu aplicații foarte rare.

Modelul parabolic, cînd pe hîrtie dublu logaritmică semivariograma teoretică devine o linie dreaptă. Expresia sa analitică este :

$$\gamma(h) = ah^b$$

cu graficul din figura XIV.16, c.

Modelul sinusoidal, cu expresia analitică :

$$\gamma(h) = C \left(1 - \frac{\sin ah}{ah} \right)$$

avînd graficul din figura XIV.16, d.

Cazurile în care semivariograma teoretică poate fi exprimată cu ajutorul unui singur model din cele prezentate constituie *structurile simple*.

Uneori nici unul din modelele prezentate nu aproximează suficient de bine semivariograma experimentală, dar dacă se ia suma a două sau a mai multora din modelele descrise, se poate ajunge la o semivariogramă teoretică care trece foarte aproape de punctele semivariogramei experimentale. În asemenea cazuri sîntem în prezența unor *structuri compuse*, a căror expresie analitică este de forma :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \gamma_1(h) + C_2 \gamma_2(h) + \dots$$

De exemplu, în cazul unei structuri copuse din două modele sferice, expresia analitică a semivariogramei teoretice devine :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h}{a_1} - 0,5 \left(\frac{h}{a_1} \right)^3 \right] + C_2 \left[1,5 \frac{h}{a_2} - 0,5 \left(\frac{h}{a_2} \right)^3 \right] & \text{pentru } h < a_1 \\ C_0 + C_1 + C_2 \left[1,5 \frac{h}{a_2} - 0,5 \left(\frac{h}{a_2} \right)^3 \right] & \text{pentru } a_1 \leq h < a_2 \\ C_0 + C_1 + C_2 & \text{pentru } h \geq a_2 \end{cases}$$

5.2.4.2. Mineralizații anizotrope

Dacă în diferitele direcții semivariograma experimentală are valori semnificativ deosebite, spunem că variabila regionalizată este *anizotropă*. În asemenea cazuri se pune problema găsirii unui model teoretic care să permită calcularea valorilor semivariogramei în orice direcție. Se vor prezenta în continuare principalele două tipuri de anizotropie.

Anizotropia geometrică. În cazul izotrop, zona de influență a unei probe este un cerc în cazul bidimensional, respectiv o sferă în cel tridimensional.

Dacă printr-o transformare a axelor x, y, z în axele x', y', z' , definită prin relațiile :

$$x' = x$$

$$y' = k_y y$$

$$z' = k_z z$$

se ajunge la o semivariogramă izotropă, avem o *anizotropie geometrică*. În acest caz zona de influență a unei probe este o elipsă, respectiv un elipsoid de semiaxe a_x, a_y, a_z , care prin schimbarea de axe menționată se transformă într-o sferă de rază a_x .

Coefficienții k_y și k_z se numesc *rapoarte de anizotropie*; expresia lor diferă de la un model la altul.

Fiind dat un vector cu extremitățile în $M_1(x_1, y_1, z_1)$ și $M_2(x_2, y_2, z_2)$, mărimea sa h este dată de expresia :

$$h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2 + h_z^2}$$

unde h_x, h_y, h_z sînt proiecțiile vectorului \vec{h} pe direcțiile ox, oy și oz , adică :

$$h_x = y_2 - x_1$$

$$h_y = y_2 - y_1$$

$$h_z = z_2 - z_1$$

Prin schimbările de axe $x' = x; y' = k_y y$ și $z' = k_z z$, lungimea h se transformă în lungimea h' :

$$h' = \sqrt{h_x^2 + (k_y h_y)^2 + (k_z h_z)^2}$$

În vederea stabilirii unei expresii unice pentru semivariograma teoretică, valabilă în orice direcție, în cazul anizotropiei geometrice se pun următoarele probleme :

— stabilirea semivariogramei teoretice, separat pentru fiecare direcție : $\gamma_x(h)$, $\gamma_y(h)$ și $\gamma_z(h)$;

— verificarea condițiilor pentru anizotropia geometrică ;

— calcularea rapoartelor de anizotropie : k_y și k_z ;

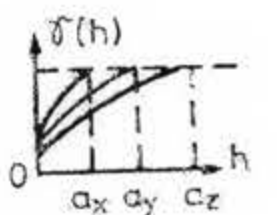
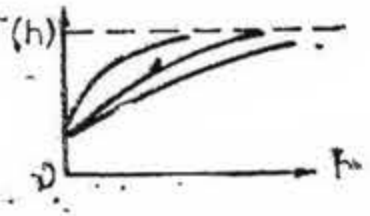
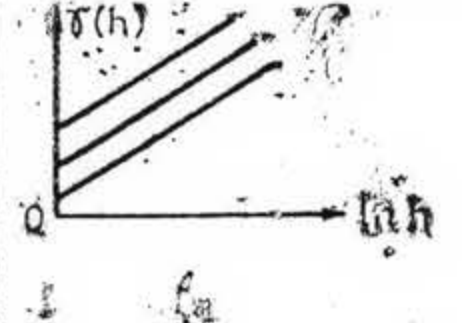
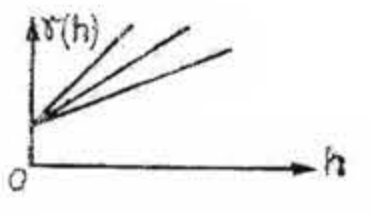
— scrierea expresiei analitice a semivariogramei teoretice, valabilă în orice direcție

Semivariograma teoretică pentru fiecare direcție în parte se obține la fel ca în cazul izotrop. Din tabelul XIV.20 rezultă modul de rezolvare a celorlalte trei probleme.

Anizotropia zonală este urmare așa-numitului *efect de stratificație* și constă în faptul că în secțiuni plane (de regulă orizontale) semivariograma este izotropă, eventual prezintă o anizotropie geometrică, iar pe direcția perpendiculară pe aceste plane (deci, de regulă, după verticală) semivariograma are valori mai mari.

Tabelul XIV.20

Criterii de recunoaștere și modul de tratare a anizotropiei geometrice

Modelul în fiecare direcție	Condițiile anizotropiei geometrice	Rapoartele de anizotropie		Expresia analitică a modelului, valabilă în orice direcție	Graficul modelelor în cele trei direcții
		k_y	k_z		
Sferic (Mathe- ron)	$C_{0x}=C_{0y}=C_{0z}$ $C_{1x}=C_{1y}=C_{1z}$	$\frac{a_x}{a_y}$	$\frac{a_x}{a_z}$	$C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h'}{a_x} - 0,5 \left(\frac{h'}{a_x} \right)^3 \right]$ dacă $h' < a_x$ $C_0 + C_1$ dacă $h' \geq a_x$	
Expo- nențial	Idem	Idem	Idem	$C_0 + C_1(1 - e^{-\frac{h'}{a_x}})$	
Logarit- mic (De Wijs)	$C_{1x}=C_{1y}=C_{1z}$	$\frac{C_{0y}-C_{0x}}{C_1}$	$\frac{C_{0z}-C_{0x}}{C_1}$	$C_{0x} + C_1 \ln h'$	
Liniar	$C_{0x}=C_{0y}=C_{0z}$	$\frac{C_{1y}}{C_{1x}}$	$\frac{C_{1z}}{C_{1x}}$	$C_0 + C_{1x} h'$	

În toate cazurile, $h' = \sqrt{h_x^2 + (k_y h_y)^2 + (k_z h_z)^2}$

Fie $\gamma_{xy}(h)$ semivariograma experimentală în secțiuni orizontale și $\gamma_z(h)$ valorile ei pe verticală. Se consideră că $\gamma_z(h)$ este semivariograma globală, compusă din componenta izotropă $\gamma_{xy}(h)$ și o componentă zonală $\gamma_{zon}(h_z)$, care nu are influență în secțiuni orizontale. În aceste condiții, pentru stabilirea semivariogramei $\gamma(h)$, valabilă în orice direcție, se procedează astfel:

— se determină modelul teoretic al semivariogramei experimentale, calculată după diferite direcții din secțiuni orizontale, pe care îl notăm cu $\gamma_{izo}(h)$. (Se reamintește că $\gamma_{izo}(h_z)$ poate reprezenta și o semivariogramă cu anizotropie geometrică);

— se calculează diferențele valorilor experimentale $\gamma_z(h) - \gamma_{xy}(h)$; aceste diferențe se consideră valorile experimentale ale unei semivariograme; se determină modelul diferențelor, $\gamma_{zon}(h_z)$;

— modelul teoretic căutat, valabil pentru orice direcție, este:

$$\gamma(h) = \gamma_{izo}(h) + \gamma_{zon}(h_z)$$

Se subliniază faptul că în timp ce componenta izotropă depinde de lungimea vectorului h , componenta zonală depinde doar de proiecția h_z a acestui vector pe direcția oz .

După alegerea modelului semivariogramei teoretice, trebuie determinate valorile numerice ale parametrilor care intervin în expresia lui. De observat că unii parametri sînt liniari (ex.: C_0 și C_1), iar alții sînt neliniari (ex.: a în modelul sferic și exponențial). Există o serie de metode practice simple pentru determinarea acestor parametri. Cele mai bune rezultate se obțin utilizînd metoda celor mai mici pătrate, folosind calculatoarele electronice.

5.2.5. METODA KRIGE — DETERMINAREA ESTIMATORULUI OPTIM ȘI A VARIANȚEI ERORII DE ESTIMARE

Fie o unitate de calcul al rezervelor D (panou, bloc etc.), cercetată cu lucrările L_1, L_2, \dots, L_n , în care s-au determinat valorile v_1, v_2, \dots, v_n ale unei caracteristici (ex.: grosime, conținutul într-un component util etc.). Se pune problema determinării valorii medii \bar{v} a acestei caracteristici în unitatea de calcul D , pe baza datelor experimentale v_1, v_2, \dots, v_n . Orice metodă de estimare a rezervelor determină media \bar{v} ca o combinație liniară a valorilor experimentale v_i , sub forma:

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot v_i$$

unde λ_i sînt ponderi nenegative, îndeplinind condiția:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

pentru a exclude erorile sistematice în estimare. Fie v_0 media reală (care nu poate fi stabilită niciodată) a caracteristicii v în unitatea de calcul D . Există ∞^{n-1} seturi de n numere λ_i nenegative, cu suma = 1, deci cu aceleași date experimentale v_i se pot obține pe o unitate de calcul ∞^{n-1} medii, în general diferite între ele. Media reală este însă una singură, v_0 . Diferitele medii prezintă deci diferențe deosebite față de media reală, deci erori de estimare diferite. Din toate seturile posibile de ponderi λ_i geostatistica alege unul singur

acela care face minimă varianța erorii de estimare. Spre deosebire de oricare alt estimator, media obținută prin metoda geostatistică poartă numele de *estimator Krige*, iar varianța erorii de estimare corespunzătoare, *varianța erorii Krige*, acestea notîndu-se cu σ_k , respectiv σ_k^2 . Prin urmare, geostatistica determină valoarea medie prin relația:

$$v_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot v_i$$

ponderile λ_i determinîndu-se astfel ca să fie îndeplinite condițiile:

$$\begin{cases} \sigma_k^2 = \text{minim} \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases}$$

Impunînd aceste condiții, ponderile λ_i sînt soluțiile următorului sistem, numit *sistemul lui Krige*:

$$\begin{cases} \gamma_{11}\lambda_1 + \gamma_{12}\lambda_2 + \dots + \gamma_{1n}\lambda_n + \mu = \gamma_{1D} \\ \gamma_{21}\lambda_1 + \gamma_{22}\lambda_2 + \dots + \gamma_{2n}\lambda_n + \mu = \gamma_{2D} \\ \dots \\ \gamma_{n1}\lambda_1 + \gamma_{n2}\lambda_2 + \dots + \gamma_{nn}\lambda_n + \mu = \gamma_{nD} \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1 \end{cases}$$

unde: μ este multiplicator Lagrange;

γ_{ij} — valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea vectorului \bar{h} descrie lucrarea L_i , iar extremitatea lui lucrarea L_j ; evident, $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$;

γ_{iD} — valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea vectorului \bar{h} descrie lucrarea L_i , iar extremitatea lui unitatea de calcul D .

După rezolvarea sistemului lui Krige, varianța erorii de estimare se calculează cu ajutorul relației:

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \gamma_{iD} + \mu - \gamma_{DD}$$

în care γ_{DD} reprezintă valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea și extremitatea vectorului \bar{h} descriu, independent una de alta, domeniul D .

5.2.6. INTERVALUL DE ÎNCREDERE AL CANTITĂȚII ȘI CALITĂȚII REZERVELOR. GRADUL DE PRECIZIE AL VALORILOR ESTIMATE

Prin lucrările de cercetare geologică executate, caracteristicile zăcămintelor (grosime, conținut, greutate volumetrică etc.) se determină într-un număr limitat de puncte, apoi aceste valori se extind asupra unităților de calcul (panouri, blocuri). Datorită acestui fapt, indiferent de metoda de calcul folosită, rezervele estimate nu coincid niciodată cu

cele reale, adică ele sînt afectate de erori. Notînd cu v_k valoarea estimată a unei caracteristici și cu v_0 valoarea sa reală, eroarea de estimare absolută este :

$$e = v_k - v_0$$

Eroarea de estimare nu poate fi determinată niciodată, ci doar varianța ei, σ_k^2 . Se admite că eroarea de estimare are o distribuție normală (Gauss-Laplace). În aceste condiții, se poate afirma că există o probabilitate P ca eroarea de estimare să fie cuprinsă în intervalul $(-t \sigma_k, t \sigma_k)$, unde $\sigma_k = \sqrt{\sigma_k^2}$ se numește *eroare standard*, iar t este valoarea parametrului din funcția corespunzătoare distribuției normale :

$$2P(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

Se dau valorile lui t pentru diferite probabilități $P(t)$:

$P(t)$ [%]	t
70	1,036
80	1,282
90	1,645
95	1,960

Definim *gradul de precizie* al estimării unei caracteristici v , valoarea minimă pe care se poate conta cu o probabilitate P , exprimată în procente față de valoarea medie v_z a caracteristicii pe domeniul geometric în care s-a determinat semivariograma (întregul zăcămint sau un corp de substanță minerală utilă) :

$$p = 100 \left(1 - \frac{t \sigma_k}{v_z} \right)$$

Intervalul $\left(\frac{p}{100} v_k, \frac{200-p}{100} v_k \right)$ se numește *interval de încredere*. Sensul practic al intervalului de încredere este următorul : există o probabilitate P % ca media reală v_0 să fie cuprinsă în intervalul respectiv.

Prin metoda Krige se obține varianța erorii de estimare a grosimii medii (la zăcămintele tabulare) și a conținuturilor medii, pe unități de calcul.

Ținînd seama de faptul că cantitatea de rezerve este produsul dintre suprafață, grosime și masa volumetrică ($R = S \cdot g \cdot \gamma$), varianța erorii de estimare a cantității de rezerve σ_R^2 rezultă din relația :

$$\frac{\sigma_R^2}{R^2} = \frac{\sigma_S^2}{S^2} + \frac{\sigma_g^2}{g^2} + \frac{\sigma_\gamma^2}{\gamma^2}$$

Cunoscînd varianța erorii de estimare a cantității de rezerve (σ_R^2) și a conținutului mediu (σ_c^2), varianța erorii de estimare a cantității de metal σ_M^2 este :

$$\frac{\sigma_M^2}{M^2} = \frac{\sigma_R^2}{R^2} + \frac{\sigma_c^2}{\bar{c}^2}$$

Fie n unități de calcul pentru care s-au stabilit cantitățile de rezerve R_1, R_2, \dots, R_n și conținuturile medii c_1, c_2, \dots, c_n , cu varianțele erorilor de estimare $\sigma_{R_i}^2$ respectiv $\sigma_{c_i}^2$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Cumulînd aceste rezerve se obțin :

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i c_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

Varianța erorii de estimare a cantității și calității rezervelor cumulate este :

$$\sigma_R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 \sigma_{R_i}^2}{(R_1 + R_2 + \dots + R_n)^2} ; \quad \sigma_c^2 = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 \sigma_{c_i}^2}{(R_1 + R_2 + \dots + R_n)^2}$$

XV. TOPOGRAFIE MINIERĂ ȘI FOTOGRAMMETRIE

Prof. dr. ing. NICOLAE DIMA
Șef lucrări dr. ing. IONIȚĂ PĂDURE
Șef lucrări ing. STANCA NICULESCU

Topografia se ocupă cu reprezentarea pe o suprafață plană a unei porțiuni de teren în scopul realizării și rezolvării în bune condițiuni a multiplelor probleme de organizare a teritoriului, de construcții industriale și civile, hidrotehnice, căi de comunicație, miniere etc.

Reprezentarea trebuie să asigure obținerea unei imagini clare a terenului, spre a fi precis cunoscut ca mărime, conținut și formă în expresia lor geografică.

La baza reprezentărilor stau măsurătorile topografice care se efectuează în teren asupra elementelor ce trebuie să fie reprezentate și care formează așa-numitele *detalii topografice*.

Detaliile topografice pot fi naturale (munți, dealuri, cursuri de apă, povirnișuri, limite naturale etc.) sau artificiale (construcții la suprafață sau subterane, orice delimitare realizată de om).

Măsurătorile topografice prelucrate după anumite metode conduc la rezultate care transpuse pe planul de reprezentare conturează grafic porțiunea de traseu cu toate detaliile ce le conține.

Ansamblul de operații care cuprind măsurătorile topografice, calculul și raportarea pe plan poartă denumirea de *ridicare topografică*. Rezultatul concret al unei ridicări topografice este *planul topografic* sau *harta topografică*.

Planurile și hărțile topografice sînt documente nelipsite în probleme de studii și organizări de teritoriu, în probleme de studii și analize geografice și geologice, în probleme de proiectare de construcții din cele mai diferite domenii etc.

Proiectele de construcții realizate pe baza planurilor topografice urmează a fi transpuse (aplicate) în teren cu toate detaliile de construcție ale acestora.

Aplicarea în teren a proiectelor este realizabilă tot cu ajutorul unui ansamblu de operații topografice denumite *operații topografice de trasare*.

Așadar topografia rezolvă două mari și importante probleme — *ridicarea terenurilor* și *aplicarea în teren a proiectelor (trasarea)*.

Cu cît topografia va rezolva mai bine aceste două teme, ridicarea și trasarea, cu atît va atinge mai bine scopul.

Punerea în valoare a zăcămintelor de substanțe minerale utile prin exploatare minieră subterană și exploatare minieră la zi implică cunoștințe de topografie în general și de topografie minieră în special, aceasta din urmă rezolvînd problemele de ridicare și trasare precizate mai sus și, evident, cu multiple particularități.

Gama largă a problemelor specifice topografiei miniere se referă la două genuri de activități principale: *de concepție* (proiectare, sistematizare, prognoze, metode și procedee moderne de preluare și prelucrare a informațiilor etc.) și *de execuție* (redactări de planuri topografice, trasarea și urmărirea în timp a construcțiilor miniere, evidența producției etc.).

Problemele cu care viitorul specialist se confruntă în activitatea practică, de proiectare, de cercetare, de conducere și direcționare a lucrărilor miniere de deschidere, înaintare, pregătire și exploatare a zăcămintelor de substanțe minerale utile, implică cunoș-

tințe bine fundamentate privind metodologiile de prelucrare a datelor, de întocmire și redactare a hărților și planurilor topografice, de orientare a rețelelor geodezice de sprijin de amplasare a obiectivelor industriale și miniere, de urmărire a stabilității acestora, a suprafețelor agricole și forestiere, de dimensionare a pilierilor de siguranță etc.

De asemenea, se impune cunoașterea problemelor noi care privesc rezolvarea, în corelare cu geologia, a modului de distribuție spațială a mineralizației în zăcămint, utilizarea fotogrammetriei, fotointerpretării și teledetecției în determinarea și controlul unor mărimi și fenomene foarte importante domeniului minier de activitate etc.

Volumul mare de informații impune prelucrarea automată a datelor, deci cunoștințe fundamentale și de specialitate temeinice în acest scop.

1. TEORIA ERORILOR DE MĂSURARE

Dacă o mărime se măsoară de mai multe ori, de fiecare dată se obține o altă valoare, chiar dacă măsurătorile se efectuează în aceleași condiții și cu instrumente de mare precizie.

Cauza acestei nepotriviri de valori se datorește erorilor care afectează întotdeauna o măsurătoare, făcînd ca valoarea adevărată a mărimii măsurate să nu poată fi cunoscută niciodată.

Practic, neputînd fi determinată valoarea adevărată a mărimii măsurate, se caută o valoare apropiată de cea adevărată, într-un grad mai mare sau mai mic, funcție de scopul pentru care se execută măsurătorile.

Apropierea mărimii determinate față de valoarea adevărată a acesteia caracterizează *precizia determinării*.

Prelucrarea măsurătorilor efectuate asupra unei mărimi urmărește obținerea celei mai bune valori ale acesteia și a diferenței maxime posibile între valoarea determinată și valoarea adevărată.

1.1. CLASIFICAREA MĂSURĂTORILOR

Măsurătorile, ale căror erori constituie obiectul de studiu al prezentei teorii, diferă după modul lor de prezentare și în raport cu condițiile în care sînt executate.

Astfel, după modul lor de prezentare sînt grupate în măsurători *directe*, măsurători *indirecte* și măsurători *directe cu condiții (condiționate)*.

După condițiile în care sînt executate, măsurătorile pot fi de aceeași precizie și de precizii diferite.

a) *Măsurătorile directe* se caracterizează prin aceea că observațiile sînt efectuate cu instrumentul direct asupra mărimii care se măsoară.

b) *Măsurătorile indirecte* se caracterizează prin aceea că observațiile sînt efectuate cu instrumentul asupra altor mărimi, urmînd ca mărimile care interesează să se obțină indirect prin calcul.

c) *Măsurătorile condiționate* se caracterizează prin aceea că mărimile sînt rezultatul direct al observațiilor ce se efectuează, însă acestea trebuie să îndeplinească anumite restricții.

d) *Măsurători de aceeași precizie* sînt măsurătorile efectuate cu același instrument și în aceleași condiții, ceea ce înseamnă că observațiile pot fi considerate cu același grad de încredere.

e) *Măsurători de precizii diferite* sînt măsurătorile efectuate în condiții diferite, metode diferite de lucru sau cu instrumente diferite.

1.2. MĂSURĂTORI DIRECTE DE ACEEAȘI PRECIZIE

Considerăm că asupra unei mărimi sînt efectuate observațiile O_1, O_2, \dots, O_n . Valoarea cea mai probabilă M a mărimii măsurate este dată de media aritmetică a observațiilor, respectiv :

$$M = \frac{O_1 + O_2 + O_3 + \dots + O_n}{n} = \frac{[O]}{n} \quad (1.1)$$

Față de valoarea probabilă, valoarea cea mai bună, se definesc erorile aparente V_1, V_2, \dots, V_n , ca fiind :

$$V_i = O_i - M \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.2)$$

Față de valoarea adevărată a mărimii măsurate X se definesc erorile reale $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$, ca fiind :

$$\varepsilon_i = O_i - M \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.3)$$

Funcție de erorile reale, se definește eroarea medie pătratică a unei singure măsurători m_0 cu relația :

$$m_0^2 = \frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n} \quad (1.4)$$

Se poate arăta egalitatea :

$$\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n} = \frac{[VV]}{n-1}$$

Deci :

$$m_0^2 = \frac{[VV]}{n-1}$$

Sau :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (1.5)$$

Se notează cu m eroarea medie pătratică a mediei aritmetice, iar valoarea acesteia se obține cu relația :

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{n}} \quad (1.6)$$

Rezultatul măsurătorilor se prezintă :

$$X = M \pm m \quad (1.7)$$

Dacă sînt măsurate direct și cu aceeași precizie mai multe mărimi independente l_1, l_2, \dots, l_n , pentru a determina eroarea unei funcții :

$$x = f(l_1, l_2, \dots, l_n) \quad (1.8)$$

de mărimile măsurate, se folosește relația :

$$m_x = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial f}{\partial l}\right)^2 m^2\right]} \quad (1.9)$$

1.3. MĂSURĂTORI DIRECTE DE PRECIZII DIFERITE

Se consideră că asupra unei mărimi sînt efectuate observațiile O_1, O_2, \dots, O_n cu precizii diferite, deci au erorile $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$.

Valoarea probabilă M a mărimii măsurate este dată de o medie aritmetică ponderată, respectiv :

$$M = \frac{p_1 O_1 + p_2 O_2 + \dots + p_n O_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[pO]}{[p]} \quad (1.10)$$

unde :

$$p_i = \left(\frac{m_0}{m_i}\right)^2 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.11)$$

reprezintă ponderile mărimilor măsurate, m_0 fiind eroarea medie pătratică a unității de pondere.

Cum m_0 nu influențează valoarea mediei aritmetice, rezultă că ponderile pot fi calculate și cu relația :

$$p_i = \frac{1}{m_i^2} \quad (1.12)$$

Erorile aparente se definesc, ca și în cazul măsurătorilor directe, de aceeași precizie, cu care se obțin :

— eroarea medie pătratică a unității de pondere

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pVV]}{n-1}} \quad (1.13)$$

— eroarea medie pătratică a mediei aritmetice ponderate

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{[p]}} \quad (1.14)$$

În cazul funcțiilor de mărimi măsurate direct și de precizii diferite, de forma (1.8), se stabilește ponderea funcției, folosind :

$$\frac{1}{p_x} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial l}\right)^2 \frac{1}{p}\right] \quad (1.15)$$

1.4. MĂSURĂTORI INDIRECTE DE ACEEAȘI PRECIZIE

Cazul general al măsurătorilor indirecte se prezintă printr-un sistem de funcții de legătură neliniare între mărimile măsurate și mărimile necunoscute de forma :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_k) &= l'_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_k) &= l'_2 \\ &\dots\dots\dots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_k) &= l'_n \end{aligned} \quad (1.16)$$

unde :

x_1, x_2, \dots, x_k sînt necunoscutele ;

l'_1, l'_2, \dots, l'_n sînt mărimile măsurate considerate fără eror

Se notează cu $l_1^0, l_2^0, \dots, l_k^0$ mărimile măsurate și eronate, cum dealtfel există practic, și se obține :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_k) - l_1^0 &= V_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_k) - l_2^0 &= V_2 \\ &\dots\dots\dots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_k) - l_n^0 &= V_n \end{aligned} \quad (1.17)$$

Sistemul (1.17) conține atîtea ecuații cîte mărimi măsurate există, iar numărul lor depășește cu mult numărul necunoscutelor, adică :

$$n > k$$

Pentru liniarizarea funcțiilor (1.17) se notează cu $x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0$ valorile aproximative ale necunoscutelor. Aceste valori se pot obține simplu dacă se rezolvă primele k

Schema de calcul

Nr. crt.	a	b	c	l	s	aa	ab	ac	al
1	a_1	b_1	c_1	l_1	s_1	$a_1 a_1$	$a_1 b_1$	$a_1 c_1$	$a_1 l_1$
2	a_2	b_2	c_2	l_2	s_2	$a_2 a_2$	$a_2 b_2$	$a_2 c_2$	$a_2 l_2$
3	a_3	b_3	c_3	l_3	s_3	$a_3 a_3$	$a_3 b_3$	$a_3 c_3$	$a_3 l_3$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
n	a_n	b_n	c_n	l_n	s_n	$a_n a_n$	$a_n b_n$	$a_n c_n$	$a_n l_n$
	[a]	[b]	[c]	[l]	[s]	[aa]	[ab]	[ac]	[al]

ecuații din sistemul (1.16). Fie $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_k$ creșterile valorilor aproximative, cu care pot fi scrise egalitățile :

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1^0 + \Delta x_1 \\ x_2 &= x_2^0 + \Delta x_2 \\ &\dots\dots\dots \\ x_k &= x_k^0 + \Delta x_k \end{aligned} \quad (1.18)$$

Introducînd egalitățile (1.18) în (1.17) și dezvoltînd în serie Taylor se obține :

$$\begin{aligned} a_1 \Delta x_1 + b_1 \Delta x_2 + \dots + k_1 \Delta x_k + l_1 &= V_1 \\ a_2 \Delta x_1 + b_2 \Delta x_2 + \dots + k_2 \Delta x_k + l_2 &= V_2 \\ &\dots\dots\dots \\ a_n \Delta x_1 + b_n \Delta x_2 + \dots + k_n \Delta x_k + l_n &= V_n \end{aligned} \quad (1.19)$$

Sistemul (1.19) reprezintă forma generală de definire a măsurătorilor indirecte și poartă numele de *sistemul ecuațiilor de erori*.

Se consideră un sistem de ecuații de erori format din n ecuații cu trei necunoscute :

$$a_i x + b_i y + c_i z + l_i = V_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1.20)$$

Dacă erorile mărimilor măsurate sînt aceleași, măsurătorile sînt de aceeași precizie. Aplicînd sistemului (1.20) condiția :

$$[V \ V] = \text{minim},$$

se obține sistemul ecuațiilor normale

$$\begin{aligned} [a \ a] x + [a \ b] y + [a \ c] z + [a \ l] &= 0 \\ [a \ b] x + [b \ b] y + [b \ c] z + [b \ l] &= 0 \\ [a \ c] x + [b \ c] y + [c \ c] z + [c \ l] &= 0 \end{aligned} \quad (1.21)$$

Pentru calculul coeficienților necunoscutelor și al termenilor liberi se folosește schema XV.1.

Schema XV.1

a coeficienților

as	bb	bc	bl	bs	cc	cl	cs	ll	ls	ss
$a_1 s_1$	$b_1 b_1$	$b_1 c_1$	$b_1 l_1$	$b_1 s_1$	$c_1 c_1$	$c_1 l_1$	$c_1 s_1$	$l_1 l_1$	$l_1 s_1$	$s_1 s_1$
$a_2 s_2$	$b_2 b_2$	$b_2 c_2$	$b_2 l_2$	$b_2 s_2$	$c_2 c_2$	$c_2 l_2$	$c_2 s_2$	$l_2 l_2$	$l_2 s_2$	$s_2 s_2$
$a_3 s_3$	$b_3 b_3$	$b_3 c_3$	$b_3 l_3$	$b_3 s_3$	$c_3 c_3$	$c_3 l_3$	$c_3 s_3$	$l_3 l_3$	$l_3 s_3$	$s_3 s_3$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$a_n s_n$	$b_n b_n$	$b_n c_n$	$b_n l_n$	$b_n s_n$	$c_n c_n$	$c_n l_n$	$c_n s_n$	$l_n l_n$	$l_n s_n$	$s_n s_n$
[as]	[bb]	[bc]	[bl]	[bs]	[cc]	[cl]	[cs]	[ll]	[ls]	[ss]

Schema reducerii succesive

	[a]	[b]	[c]	[l]	[s]	Rîndul	Explicații
a]	[aa]	[ab]	[ac]	[al]	[as]	1	În rîndul 1 figurează coeficienții și termenul liber din prima ecuație normală.
	-1	$-\frac{[ab]}{[aa]}$	$-\frac{[ac]}{[aa]}$	$-\frac{[al]}{[aa]}$	$-\frac{[as]}{[aa]}$	2	Elementele din rîndul 2 se obțin prin împărțirea elementelor din rîndul 1 la primul și schimbînd semnul (se scriu în roșu)
b]	x = ...	[bb]	[bc]	[bl]	[bs]	3	În rîndul 3 figurează coeficienții și termenul liber din ecuația a doua normală.
	$-\frac{[ab][ba]}{[aa]}$	$-\frac{[ab][ac]}{[aa]}$	$-\frac{[ab][al]}{[aa]}$	$-\frac{[ab][as]}{[aa]}$	$-\frac{[as]}{[aa]}$	4	Rîndul 4 se completează înmulțind elementele din rîndul 2 (scris în roșu) cu elementul de deasupra lui și din coloana lui [bb].
	[bb.1]	[bc.1]	[bl.1]	[bs.1]	[bs.1]	5	Se adună pe coloană elementele din rîndurile 3 și 4 și analog în continuare.
	-1	$-\frac{[bc.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bl.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	6	Se împart elementele din rîndul 5 la primul și se schimbă semnul (se scriu în roșu).
c]	y = ...	[cc]	[cl]	[cs]	[cs]	7	Coefficienții și termenul liber din a treia ecuație normală.
	$-\frac{[ac][ca]}{[aa]}$	$-\frac{[ac][al]}{[aa]}$	$-\frac{[ac][as]}{[aa]}$	$-\frac{[as]}{[aa]}$	$-\frac{[as]}{[aa]}$	8	Se înmulțesc elementele din rîndul 2 cu cel de deasupra lui și situat pe coloana lui [cc]
	$-\frac{[bc.1][bc.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bc.1][bl.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bc.1][bs.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	9	Se înmulțesc elementele din rîndul 6 cu cel de deasupra lui și situat pe coloana lui [cc]
	[cc.2]	[cl.2]	[cs.2]	[cs.2]	[cs.2]	10	Se adună pe coloană elementele din rîndurile 7, 8, și 9.
	-1	$-\frac{[cl.2]}{[cc.2]}$	$-\frac{[cs.2]}{[cc.2]}$	$-\frac{[cs.2]}{[cc.2]}$	$-\frac{[cs.2]}{[cc.2]}$	11	Se împart elementele din rîndul 10 la primul și se schimbă semnul (se scriu în roșu).

La întocmirea schemei se va avea în vedere următoarele relații de control:

$$\begin{aligned}
 [a] + [b] + [c] + [l] &= [s] \\
 [aa] + [ab] + [ac] + [al] &= [as] \\
 [ab] + [bb] + [bc] + [bl] &= [bs] \\
 [ac] + [bc] + [cc] + [cl] &= [cs] \\
 [al] + [bl] + [cl] + [ll] &= [sl] \\
 [as] + [bs] + [cs] + [ls] &= [ss]
 \end{aligned} \quad (1.22)$$

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații normale se utilizează metoda reducerii succesive, algoritmi de calcul rezultînd din schema XV.2.

La întocmirea schemei se au în vedere următoarele relații de control:

$$\begin{aligned}
 [bb.1] + [bc.1] + [bl.1] &= [bs.1] \\
 [cc.2] + [cl.2] &= [cs.2]
 \end{aligned} \quad (1.23)$$

Necunoscutele se obțin în ordine:

$$\begin{aligned}
 z &= -\frac{[cl.2]}{[cc.2]} \\
 y &= -\frac{[bc.1]}{[bb.1]}z - \frac{[bl.1]}{[bb.1]} \\
 x &= -\frac{[ab]}{[aa]}y - \frac{[ac]}{[aa]}z - \frac{[al]}{[aa]}
 \end{aligned} \quad (1.24)$$

Pentru a stabili erorile m_x , m_y , m_z ale valorilor probabile x , y , z , se calculează mai întîi eroarea medie pătratică a unei singure observații cu relația:

$$m_n = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-k}} \quad (1.25)$$

în care:

$-[VV] = [ll.2]$ și se calculează prin dezvoltarea în partea inferioară a schemei de reducere; n este numărul de ecuații; k este numărul de necunoscute.

Cu valoarea obținută cu (1.25) se obține în continuare:

$$m_x = \pm m_0 \sqrt{Q_{xx}}; \quad m_y = \pm m_0 \sqrt{Q_{yy}}; \quad m_z = \pm m_0 \sqrt{Q_{zz}} \quad (1.26)$$

Q_{xx} , Q_{yy} , Q_{zz} sînt coeficienții de pondere care se calculează în coloane adăugate la schema de reducere.

În cazul unei funcții de mărimi măsurate indirect de forma:

$$F = A_1x + A_2y + A_3z \quad (1.27)$$

2. MĂSURAREA MĂRIMILOR TOPOGRAFICE

2.1. MĂSURAREA UNGHIURILOR

2.1.1. INSTRUMENTE DE MĂSURARE A UNGHIURILOR

Pentru măsurarea unghiurilor în geodezie și topografie se folosesc aparate numite *teodolite*. Cu ajutorul teodolitelor se pot măsura atât unghiuri orizontale cât și unghiuri verticale. Principiile constructive ale acestor aparate au la bază modul de definire a unghiurilor orizontale și verticale de diferite direcții din spațiu. Fie, în acest sens, punctul O din care se fac observații către punctele P_1 și P_2 (fig. XV.1). Normala punctului O , împreună cu punctul P_1 determină planul vertical V_1 , iar aceeași normală împreună cu punctul P_2 determină planul vertical V_2 . Evident, că linia de intersecție O_1O_2 a planelor verticale este însăși normala punctului O .

Unghiul orizontal α , determinat de direcțiile OP_1 și OP_2 , este unghiul diedru format de cele două plane verticale, sau unghiul format de proiecțiile direcțiilor (OP'_1 și OP'_2) pe planul orizontal H . Unghiurile verticale φ_1 și φ_2 ale celor două direcții sînt unghiurile pe care direcțiile le fac cu proiecțiile lor pe planul H . Complementele unghiurilor verticale sînt unghiurile zenitale și se notează cu Z_1 și Z_2 .

Așadar, orice teodolit prin construcție are posibilitatea materializării într-un punct O , a planului orizontal H , verticalei O_1O_2 , direcțiilor OP_1 și OP_2 ; de asemenea, are posibilitatea măsurării unghiurilor verticale și a unghiului orizontal.

Există o gamă foarte largă de tipuri de aparate construite de diferite firme și care au diferite caracteristici.

O frecventă utilizare la noi în țară o are teodolitul *Zeiss Theo O-10*. Este un aparat de precizie folosit pentru toate lucrările geodezo-topografice la care se admite o eroare medie pătratică de pînă la $\pm 4''$ pentru o direcție măsurată o singură dată în cele două poziții ale lunetei.

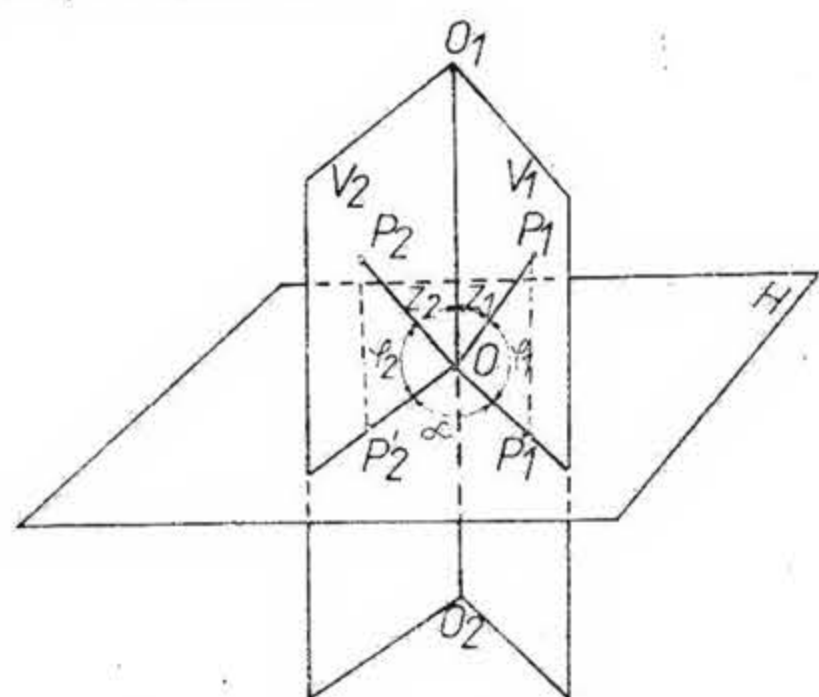


Fig. XV.1. Principiul măsurării unghiurilor orizontale și verticale.

Domeniul de utilizare este în triangulațiile de ordinul II-V, poligonații, lucrări de trasare în condiții de suprafață sau de subteran. Pentru efectuarea lecturilor la cercul orizontal și vertical se folosește un microscop cu micrometru optic.

Părțile componente ale aparatului (fig. XV.2) sînt: 1 — lunetă; 2 — clemă de blocare a mișcării lunetei; 3 — tamburul micrometrului optic; 4 — șurub micrometric

al mișcării lunetei; 5 — șurub micrometric al mișcării aparatului în jurul axului principal V-V; 6 — șurub de calare; 7 — placă de tensiune; 8 — placă de bază; 9 — șurub de fixare a aparatului în ambază; 10 — clemă de blocare a mișcării de rotație în jurul axului principal V-V; 11 — nivelă sferică; 12 — inversor de imagini; 13 — nivelă torică; 14 — ocularul microscopului de citire; 15 — ocularul lunetei; 16 — manșon de focusare; 17 — prismă de observare a nivelei cercului vertical; 18 — colimator; 19 — cercul orizontal; 20 — cercul vertical.

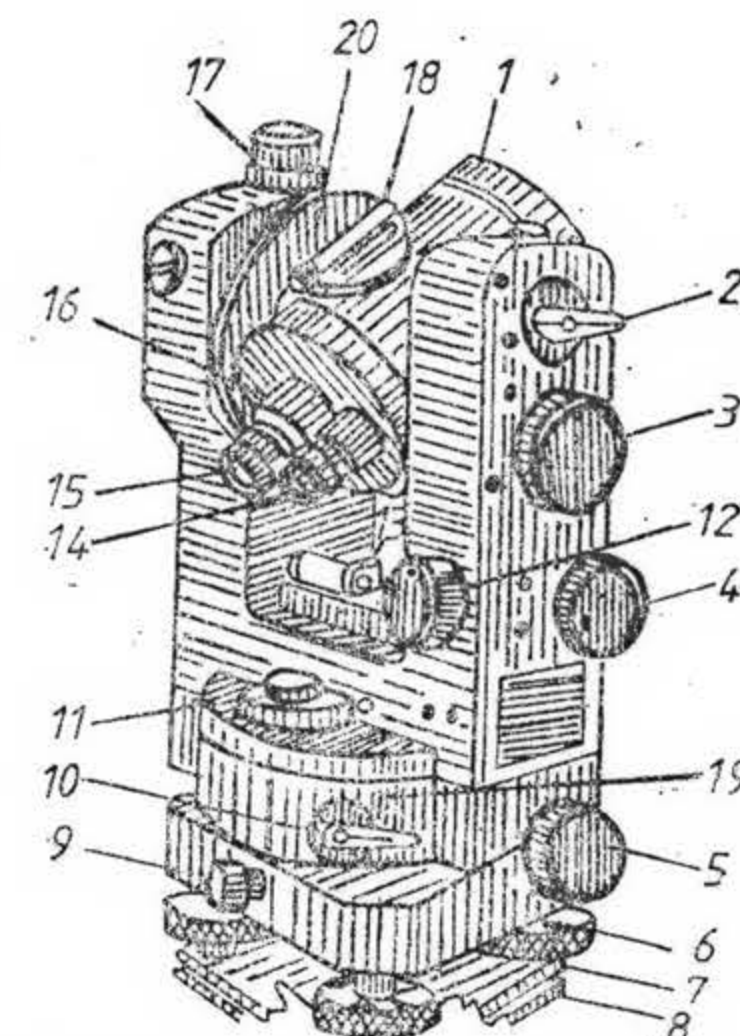


Fig. XV.2. Părțile componente ale unui teodolit.

2.1.2. METODE DE MĂSURARE A UNGHIURILOR ORIZONTALE

Metoda simplă. Pentru măsurarea unghiului α definit de direcțiile $O1$ și $O2$ (fig. XV.3) se staționează în punctul O , se vizează punctul 1 și se înregistrează lectura C_1 . Se rotește aparatul în sens topografic (sensul acelor de ceasornic) și se vizează punctul 2, înregistrându-se lectura C_2 . Aceste două lecturi se obțin în poziția I-ii a lunetei (cercul vertical în stînga).

În poziția II-a (cercul vertical în dreapta) se vizează punctul 2 și se înregistrează lectura C'_2 , se rotește aparatul în sens invers celui topografic, se vizează punctul 1 și se înregistrează lectura C'_1 .

Valoarea unghiului

$$\alpha = (C_2) - (C_1)$$

unde

$$(C_1) = \frac{C_1 + C'_1}{2} ; (C_2) = \frac{C_2 + C'_2}{2} \quad (2.1)$$

Metoda seriilor complete. Pentru măsurarea unghiurilor α , β , γ , δ se fac observații din punctul P pe direcțiile P_1 , P_2 , P_3 , P_4 care determină aceste unghiuri (fig. XV.4). Pe direcția P_1 se înregistrează lectura C_1 , iar prin rotirea aparatului în sens topografic lecturile C_2 , C_3 , C_4 pe direcțiile P_2 , P_3 , P_4 cu închidere pe direcția P_1 .

Cu mișcarea aparatului în sens invers și în a doua poziție a lunetei obținem lecturile în ordine \bar{C}'_1 , \bar{C}_4 , \bar{C}_3 , \bar{C}_2 și \bar{C}_1 .

Se stabilesc valorile probabile ale lecturilor pe direcții, efectuând media aritmetică a lecturilor astfel:

$$(C_1) = \frac{C_1 + \bar{C}_1}{2} ; (C_2) = \frac{C_2 + \bar{C}_2}{2} ; (C_3) = \frac{C_3 + \bar{C}_3}{2} ;$$

$$(C_4) = \frac{C_4 + \bar{C}_4}{2} ; (C'_1) = \frac{C'_1 + \bar{C}'_1}{2}$$

unde valoarea (C'_1) este utilizată pentru control.

Cu acestea se obțin :

$$\alpha = (C_2) - (C_1); \quad \beta = (C_3) - (C_2); \quad \gamma = (C_4) - (C_3); \quad \delta = (C_1) - (C_4) \quad (2.2)$$

Observațiile efectuate prin procedeul descris formează o serie de observații. În măsurătorile de precizie, în triangulații geodezice, metoda seriilor complete se aplică utilizând



Fig. XV.3. Metoda simplă de măsurare a unui unghi.

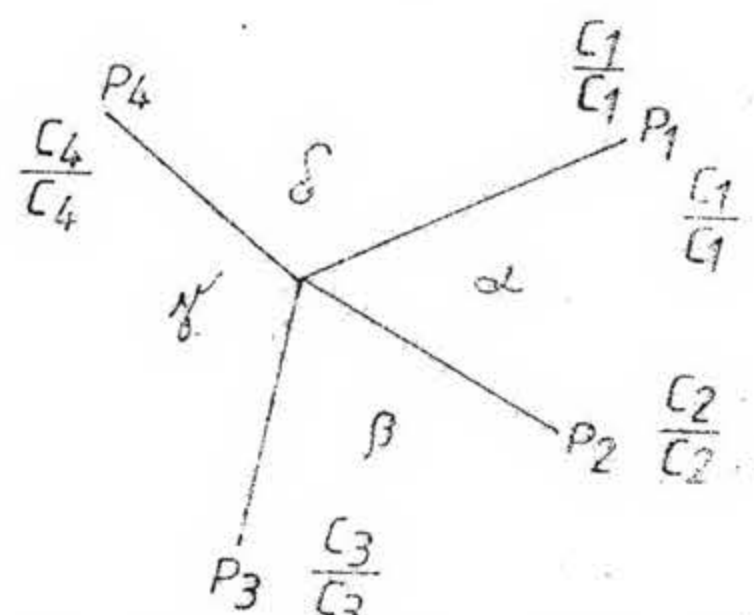


Fig. XV.4. Metoda seriilor complete de măsurare unghiurilor.

mai multe serii de observații (4, 6, 9), în fiecare serie considerând pentru direcția P_1 o altă valoare (origine).

2.1.3. MĂSURAREA UNGHIURILOR VERTICALE

Unghiurile verticale se obțin prin lecturi la cercul vertical. Lecturile se efectuează în cele două poziții ale lunetei, valoarea unghiului fiind media aritmetică a lecturilor.

Dacă lecturile sînt φ_1 și φ_2 se obține :

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \quad (2.3)$$

2.2. MĂSURAREA DIRECTĂ A DISTANTELOR

2.2.1. INSTRUMENTE PENTRU MĂSURAREA DIRECTĂ A DISTANTELOR

În funcție de rezultatele care se obțin în măsurători, pentru măsurarea directă a distanțelor instrumentele se clasifică în :

- instrumente puțin precise, folosite în lucrări preliminare de recunoaștere a terenului sau lucrări expeditivă (lanțul cu zale, compasul);
- instrumente precise, folosite în mod obișnuit în măsurători topografice (panglica de oțel, ruleta);

— instrumente foarte precise, folosite în măsurători geodezice (firul de invar).

Panglica de oțel. Este o bandă de oțel cu lungimea de 20, 25 sau 50 m și lățimea 1, 2, 5 cm și grosimi între 0,5–0,8 mm.

Panglicile au la cele două capete câte un inel de bronz cu articulație, iar lungimea de 20 sau 50 m este cuprinsă între două repere gravate pe aceste inele. Diviziunile metrice sînt indicate prin cifre imprimate pe plăcuțe de aramă. Subdiviziunile decimetrice sînt indicate prin butoni mici de cupru.

Panglicile sînt divizate pe o parte într-un sens, iar pe partea opusă, invers.

Există și panglici speciale care sînt divizate în centimetri pe toată lungimea, iar la capete sînt scale divizate în milimetri. Accesoriile necesare pentru măsurarea lungimilor cu panglica sînt *bastoanele întinzătoare* care se introduc prin inelele de bronz pentru a întinde panglica pe teren.

Întinderea panglicii se face cu o forță egală cu forța de etalonare de 3 daN/mm² de secțiune de panglică, valoare care se poate citi pe un dinamometru intercalat la unul din capete, între panglică și baston.

Ruleta de oțel. Banda de oțel folosită pentru rulete are secțiunea de 0,2 x 13 mm și lungimea de 10, 20, 25, 50 m.

Firul de invar. Permite măsurarea distanțelor cu precizia de ordinul 1:1 000 000. Are lungimea de 24 m sau de 48 m, materialul din care este confecționat fiind un aliaj din fier și nichel, cu un coeficient de dilatare foarte mic.

Pentru măsurarea bazelor se folosește trusa de invar, compusă din următoarele piese :

- patru fire de 24 m;
- 1 fir de 8 m;
- o panglică de 4 m;
- două trepiede tensoare care servesc pentru susținerea firului la întindere uniformă, cu ajutorul a două greutatea de 10 kg;
- accesorii : termometru pentru determinarea temperaturii aerului : fir gabarit — un cablu de 24 m — pentru amplasarea trepiedelor cu cap reper la o distanță de cît mai aproape de 24 m ; miretă pentru determinarea diferențelor de nivel dintre două repere consecutive.

În timpul măsurării bazei, firul de invar este suspendat astfel ca rigletele gradate să fie în dreptul capetelor reper mobile ale trepiedelor de pe traseu.

2.2.2. MĂSURAREA DIRECTĂ A LUNGIMILOR CU PANGLICA

Măsurarea lungimilor este precedată de *jalonarea și prichetarea alimentatorului* între cele două puncte. Această operație marchează pe teren direcția celor două puncte.

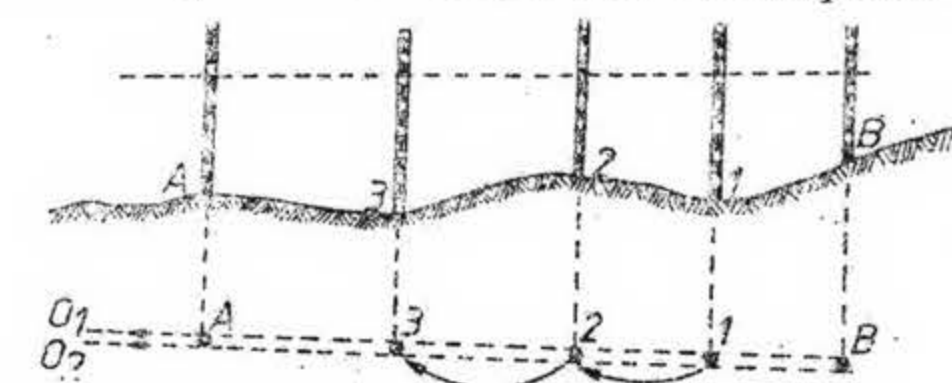


Fig. XV.5. Trasarea aliniamentului.

Jalonarea se face cu ochiul liber, cu binoclul sau cu un aparat topografic cu lunetă. Jalonarea aliniamentului AB se face prin alinierea jaloanelor 1, 2, 3, începînd de la punctul B. Alinierea se face vizînd din O_1 și O_2 în plane tangente verticale, comune la toate jaloanele așezate succesiv pe direcția AB (fig. XV.5.).

2.2.3. CORECȚII APLICATE LUNGIMILOR MĂSURATE CU BENZI DE OȚEL

Corecția de etalonare ΔL_k . La determinarea aceste corecții se ține seama de diferența dintre lungimea normală l_n a panglicii și lungimea reală l_R , cunoscută de la etalonare. Corecția pentru o lungime se calculează cu relația :

$$\Delta l_k = l_R - l_n$$

Corecția pentru întreaga lungime măsurată L va fi :

$$\Delta L_k = \frac{\Delta l_k \cdot L}{l_n} = \Delta l_k \cdot n$$

$n = L/l$ și reprezintă numărul de panglici cuprinse în lungimea respectivă.

Corecția de tensiune sau de întindere (ΔL_p). Benzile de oțel fiind elastice, lungimea lor variază în funcție de forța de întindere în timpul măsurării. Această corecție nu se aplică atunci când în timpul măsurării panglica se întinde cu aceeași forță ca la etalonare, folosind dinamometrul.

Corecția de temperatură (ΔL_t). Datorită temperaturii din timpul măsurării, t° , diferită de cea de la etalonare, t_0° , lungimea l_t a panglicii va fi :

$$l_t = l [1 + \alpha (t^\circ - t_0^\circ)]$$

unde : l este lungimea panglicii ; α — coeficientul de dilatație termică a oțelului ; $\alpha = 0,0115 \text{ mm/i}^\circ$.

Corecția de temperatură pentru o lungime de panglică va fi :

$$\Delta l_t = l_t - l = l \alpha (t^\circ - t_0^\circ)$$

Pentru o panglică de oțel de 50 m, corecția de temperatură se calculează :

$$\Delta l_t = 50 \cdot 0,0115 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ) = 0,575 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ)$$

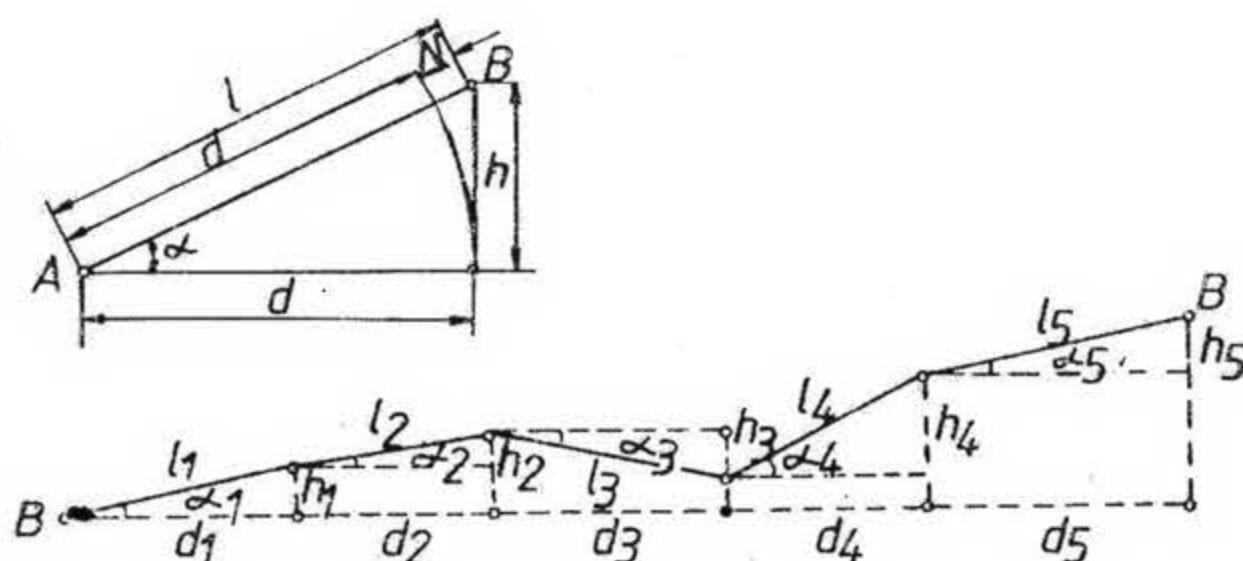


Fig. XV.6. Reducerea la orizont a distanțelor.

Pentru o lungime oarecare măsurată, corecția de temperatură va fi :

$$\Delta L_t = 0,6 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ) \cdot \frac{L}{l}$$

Corecția de reducere la orizont (ΔL_0). Pe teren se măsoară distanțele înclinate între punctele topografice. Aceste distanțe se vor reduce la orizont, determinându-se valoarea lor orizontală (fig. XV.6.)

$$d = l \cos \alpha = \sqrt{l^2 - h^2}$$

Corecția de reducere la orizont este

$$\Delta L_0 = d - l$$

2.3. MĂSURAREA INDIRECTĂ A DISTANȚELOR

Măsurarea distanțelor reprezintă un volum mare al lucrărilor topografice pe teren, iar măsurarea directă a distanțelor cu benzile și firele de oțel este dificilă sau chiar imposibilă în terenurile cu relief accidentat, peste ape, pe șantierele de construcții și în localități. Măsurarea optică, electrooptică și electromagnetică a distanțelor este metoda cea mai indicată în asemenea situații și, în plus, este mult mai rapidă decât măsurarea directă a distanțelor în condițiile asigurării aceleiași precizii.

2.3.1. METODA OPTICĂ

Utilizează ca aparatură *teodolitele tahimetre*, care sînt teodolite obișnuite ce au marcate pe placa firelor reticulare fire stadimetrice.

Un asemenea aparat se staționează într-unul din capetele distanței, iar la celălalt capăt se așază în poziție verticală o miră gradată către care se fac observații (fig. XV.7).

Cu observațiile efectuate în dreptul firelor stadimetrice, pe mira gradată, notate cu L_1 și L_2 , se poate obține indirect distanța scriind :

$$D = 100 (L_1 - L_2) \cos^2 \varphi$$

unde φ este unghiul citit la cercul vertical.

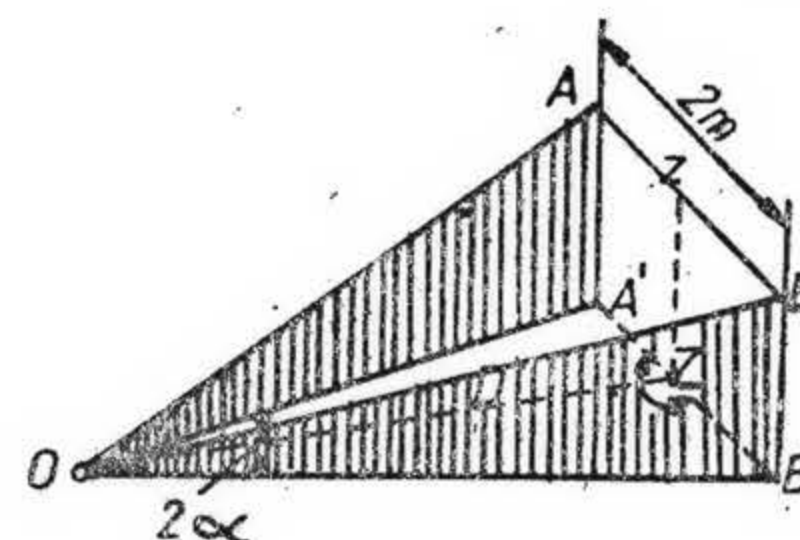


Fig. XV.7. Măsurarea tahimetrică a distanțelor.

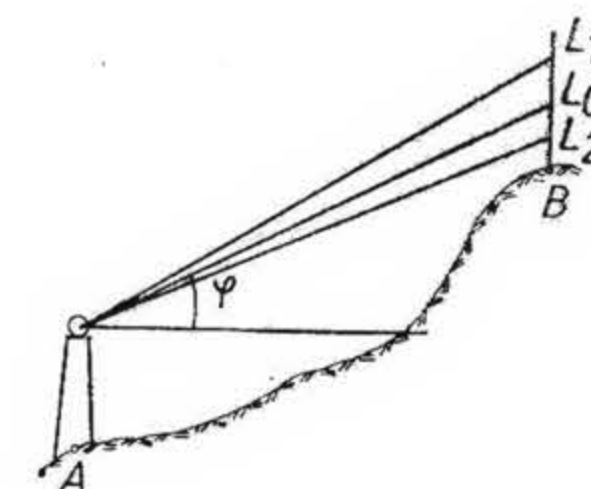


Fig. XV.8. Măsurarea distanțelor cu miră orizontală.

Este simplu de observat că atunci când $\varphi = 0$, deci linia de observație este orizontală (cazul terenurilor orizontale), $\cos^2 \varphi = 1$ și :

$$D = 100 (L_1 - L_2)$$

În obținerea indirectă a distanțelor pe cale optică, pot fi folosite aparate care nu au firele stadimetrice. Este nevoie însă ca în locul mirei verticale să fie folosită o miră orizontală (realizată în acest scop), numită *miră de invar*, cu o lungime fixă de 2 m (fig. XV.8).

Distanța în acest caz rezultă ca fiind :

$$D = \text{ctg } \alpha$$

unde α este unghiul orizontal format de direcțiile ce pornesc din punctul de stație către punctele marcate la extremitățile mirei orizontale.

De menționat, că mira de invar prin construcție poate fi așezată orizontal și perpendicular pe linia de observație.

În scopul simplificării în mai mare măsură a măsurătorilor de distanțe, au fost construite aparate numite *tahimetre autoreductoare*, prevăzute cu dispozitive speciale, care dau direct distanțele reduse la orizont. Astfel există *tahimetre autoreductoare cu diagramă* (Dahita 020, Kern DK-RV și Wild RDS), *tahimetre autoreductoare cu dublă imagine* (Redta 02), *tahimetre telemetre* (teletop).

2.3.2. MĂSURAREA ELECTROOPTICĂ ȘI ELECTROMAGNETICĂ A DISTANTELOR

După frecvența semnalului pe care îl emite, aparatura electromagnetică și electro-optică se împarte în :

- 1) telemetre electrooptice, care lucrează în gama undelor luminoase ;
- 2) radiotelemetre care lucrează în gama undelor radio.

După metoda de măsurare, se împart în :

- 1) telemetre cu impulsuri ;
- 2) telemetre fazice.

Atât telemetrele electrooptice cât și radiotelemetrele funcționează pe principiul măsurării timpului de propagare a undelor electromagnetice de-a lungul distanței care se măsoară.

În funcție de timpul parcurs dus și întors între cele 2 extremități, se determină distanța de măsurat.

Aceste aparate se mai numesc și *geodimetre*.

În această categorie se poate aminti *geodimetrul* NASN-6 care se compune din aparatul propriu-zis, ce constituie stația de măsurare sau emițătoare și reflectorul sau stația reflectoare, instalate fiecare în capetele distanței de măsurat.

Distanța măsurată înclinată se determină cu formula :

$$D = [\varphi : (4\pi \cdot f)] \cdot C_0$$

în care : φ este diferența de fază ; f — frecvența undei ; C_0 — viteza de propagare în vid a luminii.

$$\varphi = 2\pi f t$$

unde t este timpul înregistrat pentru parcurgerea distanței dus și întors de către lumină ;

$$C_0 = 299\,792,5 \text{ km/s.}$$

La valoarea D se adaugă corecții meteorologice din timpul măsurării distanței.

2.4. INSTRUMENTE DE MĂSURARE DIRECTĂ A ÎNĂLȚIMILOR

Aceste instrumente folosesc la determinarea diferențelor de nivel dintre puncte sau la trasarea pe teren a unei cote. Se împart în două categorii :

- instrumente de nivelment geometric simple (fără lunetă) ;
- instrumente de nivelment geometric cu lunetă.

În categoria instrumentelor simple de nivelment geometric sînt :

- nivela cu tub de cauciuc și lata de nivelment.

2.4.1. INSTRUMENTE DE NIVELMENT GEOMETRIC CU LUNETĂ

După modul cum se realizează orizontalizarea axei de vizare, aceste instrumente pot fi grupate în :

- instrumente de nivelment geometric clasice ;
- instrumente de nivelment geometric cu compensator.

Nivelele clasice se compun, în general, din următoarele părți principale (fig. XV.9) :

— ambaza, 1, formată din suport și șuruburile de calare 2, axul vertical și alidadă, luneta 3 și nivela torică 5.

Nivela cu lunetă are 3 axe :

— VV' — este axa de rotație în jurul căreia se rotește suportul lunetei împreună cu luneta ;

— OO' — axa de vizare a lunetei determinată de intersecția firelor reticulare și centrul optic al obiectivului, axă ce trebuie să fie orizontală ;

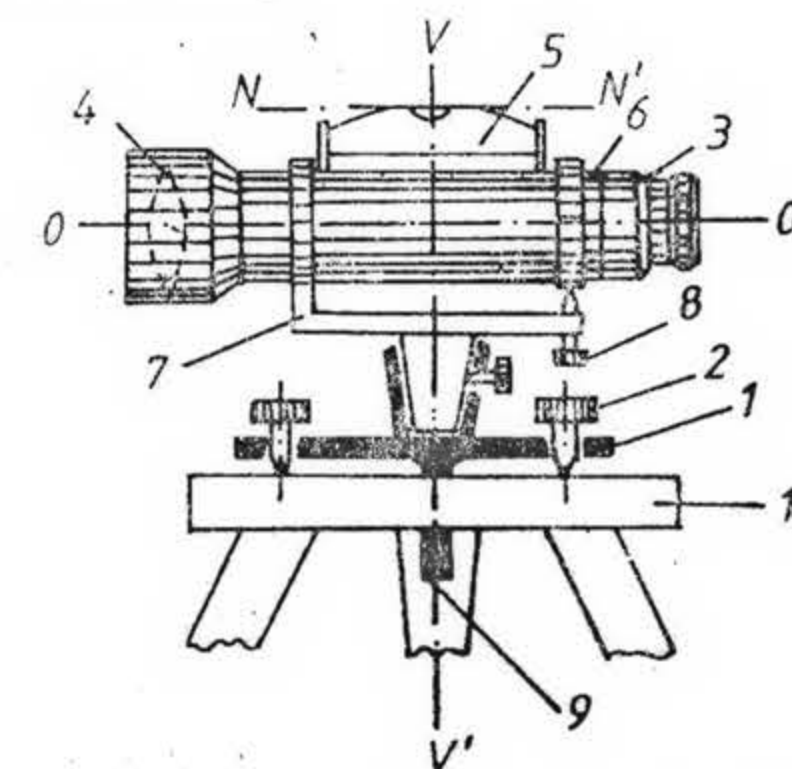


Fig. XV.9. Părțile principale ale unei nivele :

1 — ambază ; 2 — șurub de calare ; 3 — lunetă ; 4 — obiectivul lunetei ; 5 — nivela de calare ; 6 — reticul ; 7 — traversă ; 8 — șurub de elevație ; 9 — șurub pompă ; 10 — trepied.

— NN' — axa sau directricea nivelei torice care trebuie să fie și ea orizontală*

Mișcările nivelei cu lunetă se referă la :

- mișcarea lunetei în jurul axei VV'
- mișcarea în plan vertical realizată cu șurubul de fină mișcare în vederea calării nivelei torice la fiecare viză.

Instrumentele de nivelment rigide cele mai răspândite la noi în țară sînt aparatele firmei Zeiss-Jena (Ni-030 ; Ni-004).

Nivela Zeiss Ni 030 poate realiza o eroare medie pătratică de ± 2 mm la ± 3 mm/km de dublu nivelment. Precizia de măsurare cu aparatul poate fi mărită dacă se folosește un micrometru optic de obiectiv cu placă plan-paralelă și mire speciale de invar.

În acest caz, se poate obține o eroare medie pătratică de $\pm 0,8$ mm/km de dublu nivelment.

Nivela Ni 004 se deosebește în principal de Ni 030 prin aceea că micrometrul optic este încorporat în lunetă, iar coincidența bulei nivelei torice se observă direct în câmpul lunetei. Precizia lui este de 0,4 mm/km de dublu nivelment.

2.4.2. INSTRUMENTE DE NIVELMENT CU COMPENSATOR

Nivelele compensatoare sau automate simplifică procesul de măsurare, ducând la sporirea randamentului lucrărilor de teren. Aceste instrumente de nivelment nu mai au nivelă torică pentru orizontalizarea axei de vizare, aceasta realizându-se automat cu ajutorul unui compensator, după ce în prealabil aparatul a fost calat aproximativ cu nivela sferică.

După modul de construcție, compensatoarele pot fi:

- cu pendul;
- cu nivelă;
- cu lichid.

Instrumentele de nivelment cu compensator folosite în țara noastră sînt Ni 007 și Ni 025.

Nivela automată Zeiss — Ni 007 este o nivelă de precizie care dă o eroare medie pătratică de $\pm 0,5$ la 0,8 mm/km de dublu nivelment, atunci cînd citirile se efectuează pe mire cu benzi de invar. Compensatorul are un domeniu de basculare $\alpha = \pm 10''$.

3. LUCRĂRI TOPOGRAFICE LA SUPRAFAȚĂ

3.1. ELEMENTE DE GEODEZIE ȘI CARTOGRAFIE

3.1.1. FORMA ȘI DIMENSIUNILE PĂMÎNTULUI

Forma generală a Pămîntului este de geoid, definit prin suprafața mărilor deschise și oceanelor în starea lor de echilibru.

Caracteristica principală a suprafeței geoidului constă în aceea că în fiecare punct al său este normală la direcția forței gravitaționale. Cum însă forțele gravitaționale sînt foarte diferite, în diferite puncte ale suprafeței terestre, din cauza constituției neomogene a maselor din interiorul Pămîntului, rezultă, că este foarte dificil, aproape imposibil, a exprima matematic suprafața geoidului. S-a ajuns la concluzia, că suprafața care poate fi ușor exprimată matematic și este foarte apropiată de geoid este suprafața unui elipsoid

de rotație. Pe baza acestor precizări, secționînd suprafața terestră cu un plan vertical (fig. XV.10) se disting: suprafața topografică (1), suprafața geoidului (2) și suprafața elipsoidului (3).

Dimensiunile Pămîntului sînt în principal dimensiunile elipsoidului, sau ale elipsei care-l generează.

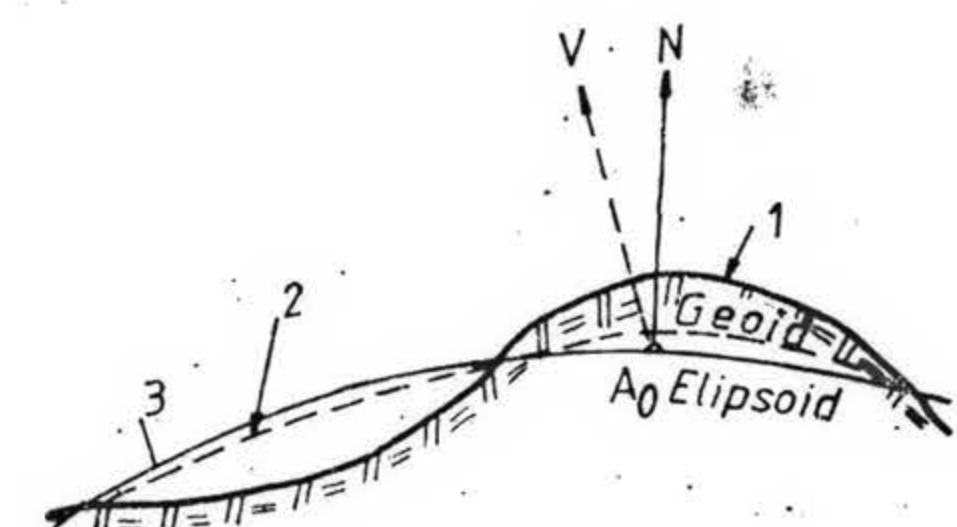


Fig. XV.10. Secțiune prin suprafața terestră.

Preocupările existente la diferite perioade de timp au condus la stabilirea diferitelor valori ale elipsoidului terestru mai mult sau mai puțin apropiate de adevăr, funcție de tehnica de măsurare și mijloacele de calcul cunoscute la acea vreme.

Tabelul XV.1

Dimensiunile elipsoidului de rotație

Autorul	Anul	Semiaxa mare	Turtirea
Bessel	1841	6 377 397	1: 299,15
Clarke	1880	6 378 249	1: 293,5
Helmert	1906	6 378 140	1: 298,3
Hayford	1909	6 378 388	1: 297,0
Krasovski	1940	6 378 245	1: 298,3

În tabelul XV.1 sînt indicați autorii și rezultatele lor cu privire la semiaxele elipsei care generează elipsoidul terestru.

3.1.2. SUPRAFEȚE DE REFERINȚĂ

Pentru reprezentarea suprafeței Pămîntului cu neregularitățile pronunțate pe care le prezintă se stabilesc anumite legi sau convenții, astfel încît imaginea obținută să fie cît mai apropiată de realitate.

Astfel, funcție de extinderea suprafețelor care se reprezintă și de natura ridicărilor geodezice și topografice, se pot folosi diferite suprafețe de referință:

— *suprafața geoidului* — folosită pentru ridicările nivelitice, acestea constituind suprafața de nivel zero;

— *suprafața elipsoidului* — folosită în ridicările geodezice de planimetrie pe suprafețe mari.

Un punct P de pe suprafața fizică a Pământului este proiectat în P' pe suprafața elipsoidului cu ajutorul normalei N la această suprafață (fig. XV.11).

În acest fel toate punctele principale (care formează rețelele geodezice de sprijin) sînt trecute de pe suprafața fizică a Pământului pe suprafața elipsoidului de referință.

Suprafața sferei de rază medie, folosită în ridicările geodezice de planimetrie pe suprafețe mici. Se poate demonstra că suprafața elipsoidului de referință poate fi înlocuită

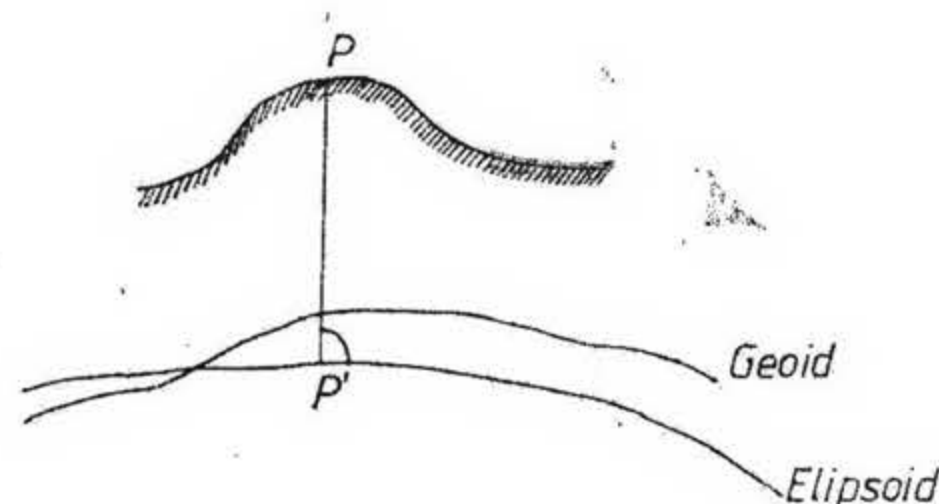


Fig. XV.11. Proiectarea unui punct pe suprafața elipsoidului.

cuită cu suprafața unei sfere a cărei rază este $R = \sqrt{MN}$, calculată în funcție de latitudinea punctului situat în centrul teritoriului considerat.

Raza sferei reprezintă o rază medie de curbură, iar M și N sînt razele principale de curbură respectiv: M — raza de curbură a curbei meridiene, N — raza de curbură a normalei la meridian în punctul în care se calculează.

Suprafața plană. Calculele pe suprafața elipsoidului și chiar pe suprafața sferei de rază medie sînt voluminoase și destul de dificile. Acestea pot fi însă simplificate prin adoptarea unei suprafețe plane, care corespunde cu un anumit sistem de reprezentare sau de proiecție.

În țara noastră sînt folosite în prezent două sisteme de reprezentare: *sistemul cilindric-transversal* sau *Gauss-Krüger* și *sistemul stereografic cu plan secant*.

Corespunzător cu aceste sisteme de reprezentare se obțin coordonatele plane rectangulare *Gauss-Krüger* sau coordonatele plane stereografice.

3.1.3. COORDONATE PLANE GAUSS-KRÜGER

Proiecția cilindrică transversală aparține proiecțiilor cilindrice conforme, adică păstrează nedeformate unghiurile.

În proiecția cilindrică transversală întreaga suprafață a globului terestru sau o anumită porțiune din aceasta este reprezentată pe suprafața desfășurabilă a unui cilindru a cărui axă face cu axa polilor un unghi de 90° (fig. XV.12).

Se observă că cilindrul este tangent la ecuator numai în două puncte, și anume în acelea care aparțin cercului mare format de meridianul PMP .

De altfel acest cerc este linia de contact a cilindrului cu suprafața terestră și care în proiecție rămîne nedeformat.

Lungimile situate în stînga sau în dreapta meridianului de tangentă, în proiecție, se deformează, deformațiile fiind cu atît mai mari cu cît acestea sînt situate mai departe față de meridian. Pentru acest motiv, în proiecția cilindrică reprezentarea suprafețelor

se face pe zone de 6° diferență de longitudine, respectîndu-se în acest mod limita maximă admisibilă a deformărilor de lungimi de $1/2500$.

Pentru ca totuși întreaga suprafață a globului terestru să poată fi reprezentată în planul obținut prin desfășurarea cilindrului după una din generatoarele sale, se va împărți suprafața în zone limitate de meridiane cu diferențe de longitudine de 6° , urmînd ca în continuare, printr-o mișcare imaginară a globului, să se considere cilindrul de pro-

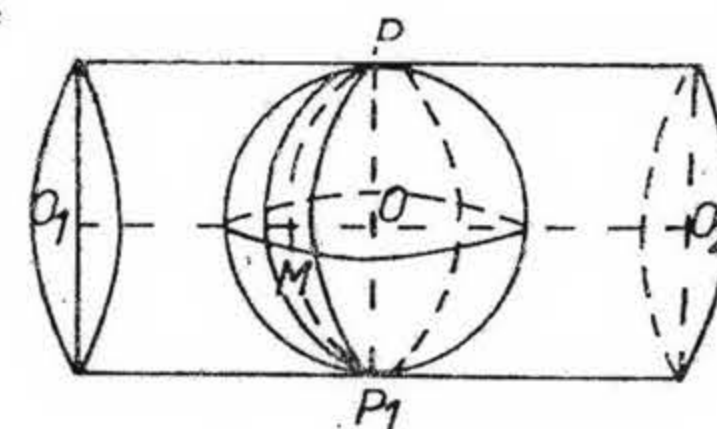


Fig. XV.12. Reprezentarea cilindrică transversală.

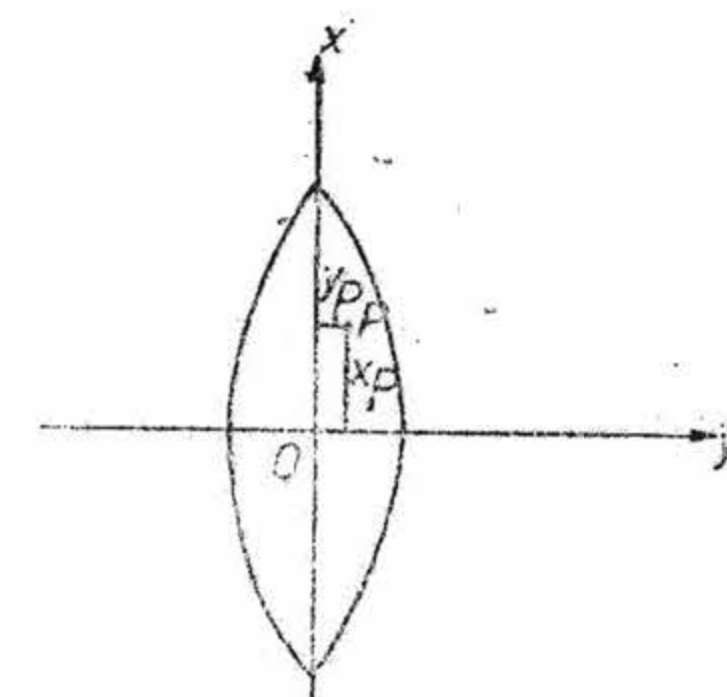


Fig. XV.13. Coordonatele unui punct în proiecție cilindrică.

iecție tangent la meridianul axial al fiecărei zone. Vor exista în total 60 de zone, care se numesc *fuse*, iar fiecare din acestea va fi împărțit în două părți egale de către meridianul axial ce îl străbate în lungime.

Proiecția cilindrică transversală folosește, pentru reprezentarea suprafeței, sisteme de coordonate rectangulare specifice fiecărui fus, respectiv oricare din cele 60 de fuse va avea originea și sistemul său de coordonate.

Axele de coordonate sînt dispuse astfel:

- ox — pe direcția meridianului axial;
- oy — pe direcția ecuatorului.

Întrucît față de aceste axe diferite puncte care aparțin fusului ce se reprezintă pot avea coordonate negative, s-a convenit ca originea axelor să aibă coordonatele: $x = 0,000$ km; $y = 500\,000$ km.

În acest fel citirea coordonatelor unui punct dintr-un fus oarecare se face după cum urmează:

- abscisa x se citește potrivit rezultatelor obținute din calcul;
- ordonata y se citește potrivit rezultatului obținut din calcul, la care se adaugă 500 km (dacă punctul este situat în dreapta meridianului axial) sau se scade din 500 km (dacă punctul este situat în stînga meridianului axial). Pentru a indica și numărul fusului în care se află punctul, se adaugă în fața ordonatei numărul fusului față de meridianul Greenwich.

Exemplu. Punctul P situat în dreapta meridianului axial (fig. XV.13) de coordonate: $x_P = 5\,293\,625,43$ m; $y_P = 5\,504\,423,21$ m se află în fusul 5, la o depărtare de $5\,293\,625,43$ față de ecuator și de $(504\,423,21 - 500\,000) = 4\,423,21$ m față de meridianul axial, această din urmă distanță considerată în dreapta meridianului axial.

3.1.4. COORDONATE PLANE STEREOGRAFICE

În proiecția stereografică, o porțiune oarecare din suprafața terestră se reprezintă pe un plan de reprezentare după legile perspectivei liniare.

Funcție de poziția planului în raport cu suprafața terestră se disting :

— proiecția stereografică cu plan tangent, atunci când planul de reprezentare este tangent la suprafața terestră în punctul central al porțiunii de suprafață care se reprezintă :

— proiecția stereografică cu plan secant, atunci când planul de reprezentare este secant la suprafața terestră.

Dacă se urmărește reprezentarea grafică (fig. XV.14), se pot preciza elementele geometrice de bază ale proiecției stereografice cu plan tangent. Astfel sînt :

C — punctul central al porțiunii de suprafață care se reprezintă (pentru țara noastră $\varphi_c = 46^\circ$, $\lambda_c = 25^\circ$);

H — planul de reprezentare;

P — un punct oarecare, ce aparține porțiunii de suprafață care se reprezintă;

O_1 — punctul de vedere, diametral opus punctului C și din care pornesc razele de proiecție;

P' — imaginea punctului P în planul de reprezentare;

s și α — elementele geodezice cu care se definește pe suprafața terestră poziția punctului P față de sistemul de referință format din punctul C și meridianul geografic ce trece prin acest punct;

S și α — elementele plane cu care se definește poziția punctului P' față de sistemul de referință xy , orientat în așa fel încît axa x -ilor coincide cu direcția meridianului punctului C , iar axa y -ilor coincide cu direcția paralelului punctului C .

Elementele geometrice de bază se definesc în mod similar și pentru proiecția stereografică cu plan secant.

Pentru ca toate punctele situate pe teritoriul țării noastre să posede coordonate pozitive, sistemul de coordonate este translatat astfel încît originea are coordonatele :

$$x = 500,000 \text{ km}; y = 500,000 \text{ km}.$$

Proiecția stereografică este ca și proiecția cilindrică transversală conformă, însă calitativ superioară în sensul că deformările liniare sînt mult mai mici.

Observație. În scopul reducerii deformărilor liniare și creșterii calității documentelor topografice, în bazinele miniere dezvoltate pe suprafețe mari se folosesc sisteme de proiecție locale (sistemul minier). Aceste sisteme independente inițial, dar ulterior racordate la sistemul de proiecție național, sînt similare cu sistemul stereografic de proiecție. Punctul central de proiecție este situat în centrul bazinului minier, poziția planului de proiecție este la nivelul mediu al lucrărilor miniere subterane.

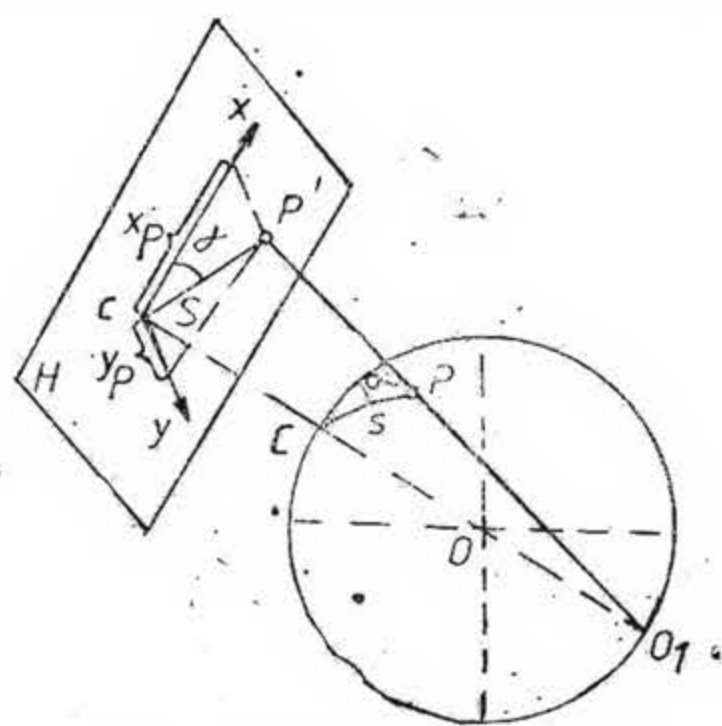


Fig. XV14. Proiecția stereografică.

3.2. TRIANGULAȚIA

Triangulația reprezintă o metodă de determinare a poziției punctelor de pe suprafața Pământului pe una din suprafețele de referință adoptată.

Pozițiile punctelor pe suprafața de referință se stabilesc prin coordonatele lor geografice dacă suprafața este elipsoidală sau sferică, respectiv rectangulare dacă suprafața de referință este plană.

Totalitatea punctelor situate pe suprafața terestră pentru care se cunosc coordonatele într-un anumit sistem formează *rețeaua geodezică de sprijin*.

Pe această rețea de sprijin se dezvoltă în continuare lucrările topografice și fotogrammetrice necesare în realizarea planurilor topografice de la suprafață și în continuare cele din subteran.

3.2.1. REȚEAUA DE TRIANGULAȚIE DE STAT

Rețeaua geodezică de sprijin este formată din totalitatea punctelor de triangulație existente pe teritoriul țării și constituie *rețeaua de triangulație de stat*. Aceasta este împărțită în rețele de triangulație de diferite ordine, care diferă în primul rînd prin lungimea laturilor figurilor geometrice din care sînt formate. Astfel sînt formate rețelele de triangulație de ordinul : I, II, III, IV, V.

Lungimile medii și mărimile ce corespund acestor ordine sînt cuprinse în tabelul XV.2.

Tabelul XV.2

Ordinul punctelor geodezice

Ordinul de triangulație	Lungimea medie a laturii [km]	Lungimea minimă a laturii [km]
I	20—25	10
II	13	7
III	8	5,5
IV	4	2
V	2	1

3.2.2. REALIZAREA REȚELEI DE TRIANGULAȚIE DE STAT

Principiul în realizarea rețelei de triangulație de stat este de la superior către inferior. Conform acestui principiu s-a realizat mai întîi rețeaua de triangulație de ordinul I și în continuare, cu sprijin pe aceasta, rețelele de ordinul II, III, IV și V. Triangulația de ordinul

I s-a realizat sub forma unei rețele compacte (fig. XV.15) de figuri geometrice — în majoritate triunghiuri și uneori patrulatere cu duble diagonale — și a fost rezolvată în bloc cu ajutorul tehnicii actuale de calcul.

Rețeaua de triangulație de ordinul II constituie o dezvoltare a rețelei de triangulație de ordinul I, rețeaua de triangulație de ordinul III o dezvoltare a rețelelor de ordinul I și II și așa mai departe. Legăturile între punctele de triangulație de diferite ordine se realizează de la simplu la complex (fig. XV.16).

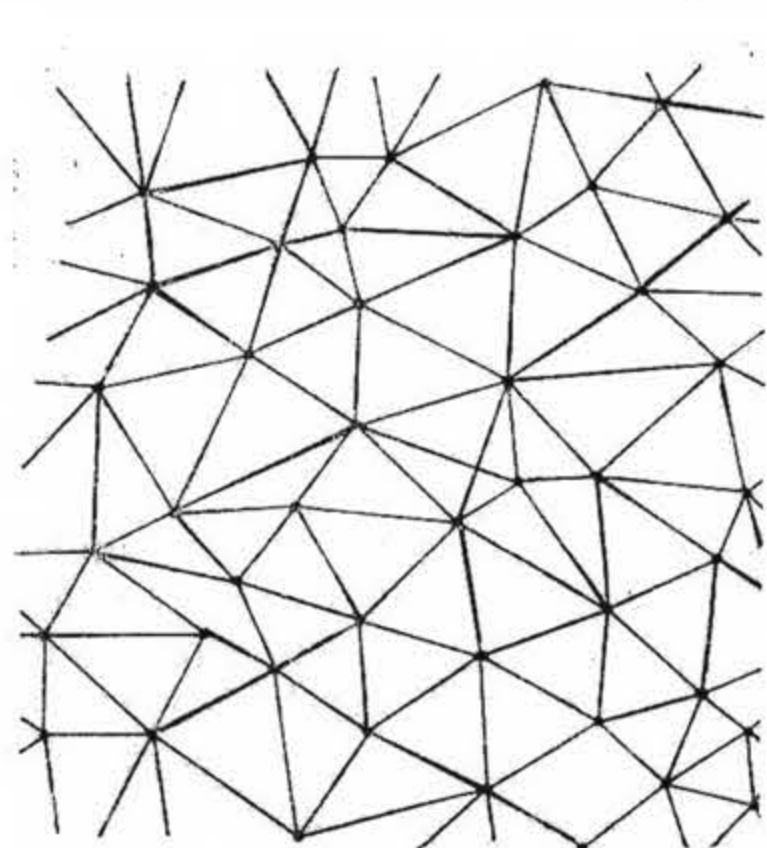


Fig. XV.15. Triangulația de ordinul I.

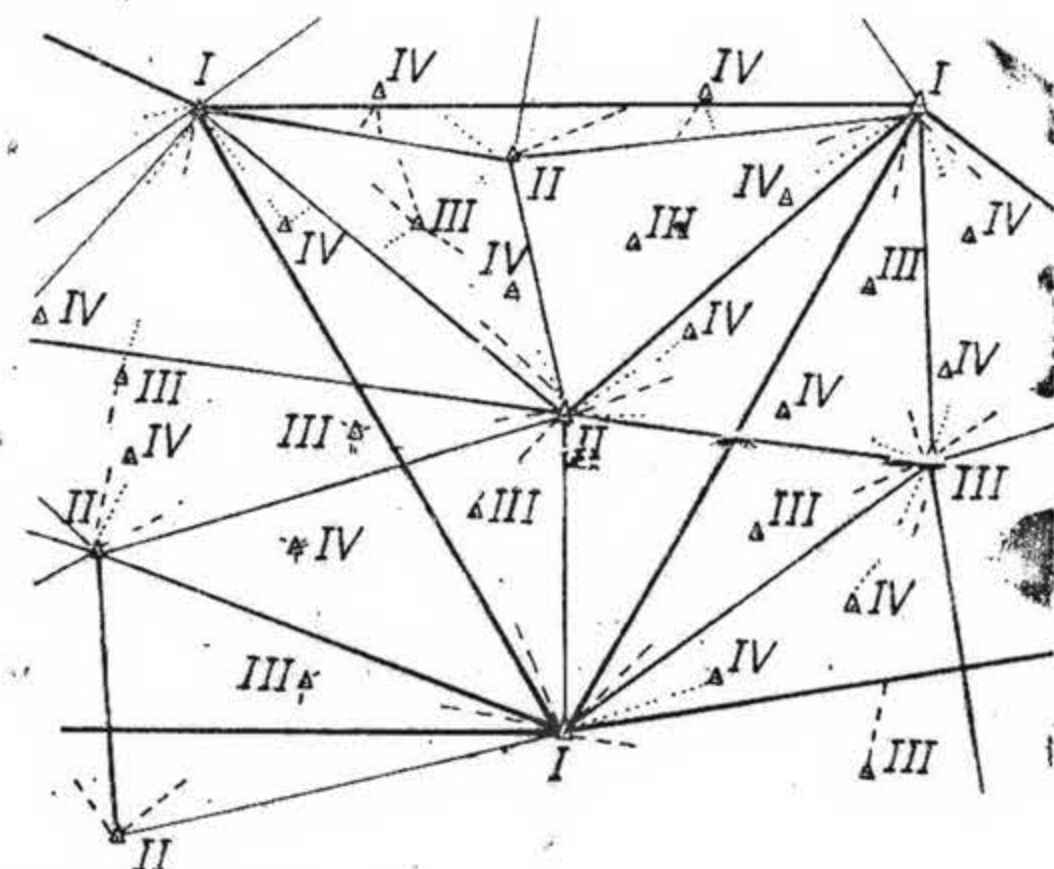


Fig. XV.16. Legătura între punctele de triangulație.

Rețelele de triangulație de ordinele I, II, și III formează rețeaua de ordin superior, iar rețelele de triangulație de ordinele IV și V formează rețeaua de ordin inferior.

3.2.3. IMPORTANȚA ȘI CARACTERUL REȚELEI DE TRIANGULAȚIE

Rețeaua de triangulație de stat constituie principala rețea de sprijin pentru toate lucrările topografice și fotogrammetrice precum și pentru lucrările geodezice de importanță locală, conform cerințelor realizării unor obiective economice. Având în vedere principiul realizării rețelei de triangulație rezultă, că o rețea poate fi independentă sau liberă, dacă conține un singur grup de elemente cunoscute sau fixe (latură, orientare, coordonatele unui punct), sau poate fi dependentă sau constrinsă dacă conține mai multe elemente fixe.

În zonele miniere, dat fiind extinderea lor pe suprafețe mari, există puncte ce aparțin rețelei de triangulație de stat. O primă problemă care se pune este legată de dezvoltarea rețelei de triangulație de stat cu puncte noi de triangulație necesare efectuării lucrărilor de topografie minieră. Având în vedere caracterul de instabilitate a suprafețelor datorită lucrărilor de exploatare minieră, punctele de triangulație își pot modifica poziția în timp. De aici, apare o a doua problemă care se referă la verificarea rețelelor de triangulație formate de punctele situate în zonele miniere și folosite ca bază de sprijin în obținerea punctelor noi. Sînt situații cînd verificarea rețelelor de triangulație se realizează simultan cu dezvoltarea acestora.

3.2.4. VERIFICAREA REȚELELOR DE TRIANGULAȚIE

În perimetrul bazinului sau exploatării miniere se stabilesc punctele ce aparțin triangulației de stat și care formează o rețea de triangulație, de regulă, de ordinul IV—V.

Aceste puncte cu legături directe între ele conduc la forme geometrice simple care pot fi (fig. XV.17): poligon cu punct central, patrulater cu două diagonale, lanț de triunghiuri, lanț de patrulatere etc.

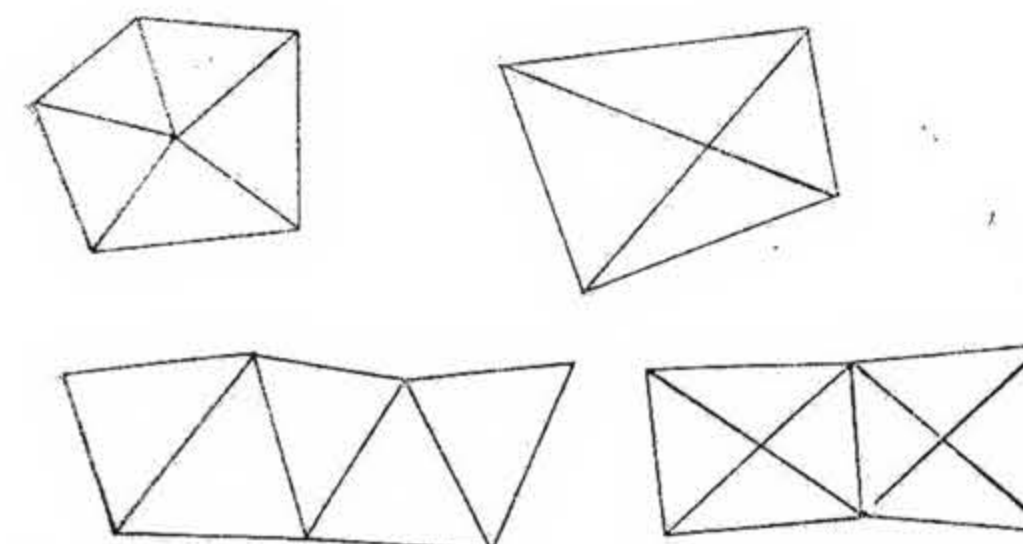


Fig. XV.17. Rețele de triangulație — forme.

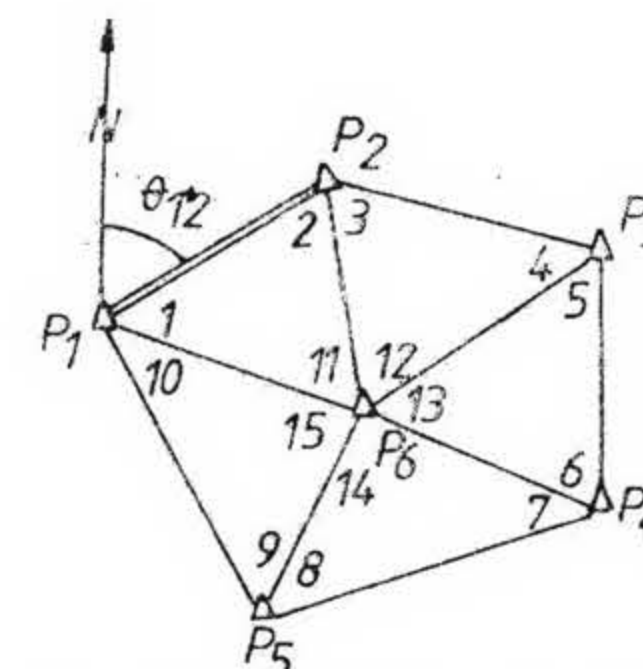


Fig. XV.18. Rețea de triangulație de forma unui poligon cu punct central.

Se consideră în continuare punctele de triangulație P_1, P_2, \dots, P_4 care formează un poligon cu punct central (fig. XV.18).

Se efectuează în aceste puncte observații de direcții după metoda seriilor complete, din care rezultă unghiurile 1, 2, ..., 15. Principala operație pe care o implică verificarea rețelei de triangulație considerată se referă la prelucrarea mărimilor măsurate. Se urmărește prin aceasta stabilirea valorilor probabile ale unghiurilor în baza unor relații de condiții geometrice, impuse de natura și forma rețelei de triangulație.

Astfel, se consideră din totalitatea punctelor, ca fiind cunoscute numai coordonatele punctelor P_1 și P_2 , celelalte urmînd a fi determinate și deci a fi verificate. Este vorba de o rețea de triangulație independentă cu un punct (P_1) de coordonate cunoscute, cu o orientare (θ_{12}) și o distanță (P_1P_2) de asemenea cunoscute (calculate din coordonatele punctelor P_1 și P_2).

Pentru rețelele de triangulație independente numărul relațiilor de condiții se stabilește cu expresiile:

$$W_1 = l_1 - p_1 + 1$$

$$W_2 = n_0$$

$$s = l - 2p + 3$$

$$r = \omega - 2p + 4 \quad (r = W_1 + W_2 + s) \quad (3.1)$$

S-a notat cu:

W_1 — numărul condițiilor de figură; W_2 — numărul condițiilor de centru; s — numărul condițiilor de laturi; r — numărul total de condiții; l_1 — numărul laturilor cu

De asemenea, pentru calculul laturilor se pornește de la latura P_1P_2 și, folosind teorema sinusurilor, se obține:

$$P_2P_6 = \frac{P_1P_2}{\sin(11)} \sin(1); \quad P_3P_6 = \frac{P_2P_6}{\sin(4)} \sin(3) \quad (3.12)$$

Coordonatele punctelor din rețeaua de triangulație se obțin scriind:

$$x_3 = x_2 + P_2P_3 \cos \theta_{22}$$

$$y_3 = y_2 + P_2P_3 \sin \theta_{23}$$

Valorile coordonatelor obținute se compară cu valorile coordonatelor determinate prin rezolvarea triangulației de stat și dacă diferențele nu sînt mai mari de ± 15 cm, rezultă că punctele nu au avut deplasări în timp. În caz contrar, punctele au fost deplasate, iar coordonatele inițiale nu mai corespund.

3.2.5. DEZVOLTAREA REȚELELOR DE TRIANGULAȚIE

Prin dezvoltarea rețelor de triangulație se înțelege determinarea de noi puncte, în scopul creșterii densității punctelor cunoscute pe o anumită suprafață. Printre punctele ce se obțin prin dezvoltarea rețelei de triangulație sînt și punctele situate în apropierea lucrărilor miniere de deschidere și de la care se transmit elementele topografice (coordo-nate și orientări) în subteran.

Pentru dezvoltarea rețelei de triangulație se folosesc: *metoda intersecțiilor unghiulare* și *metoda traseelor poligonale*.

Metoda intersecțiilor unghiulare. Dacă există punctele de triangulație P_1 și P_2 staționabile și cu coordonatele cunoscute, se pot determina coordonatele unui alt punct P_0 în situația în care există posibilitatea măsurării unghiurilor α și β (fig. XV.19).

Pentru aceasta se scriu ecuațiile dreptelor care trec prin punctele P_1 și P_2 și au unghiurile de orientare către punctul P_0 cunoscute. Se obține:

$$y_0 - y_1 = (x_0 - x_1) \operatorname{tg} \theta_{10}; \quad y_0 - y_2 = (x_0 - x_2) \operatorname{tg} \theta_{20} \quad (3.13)$$

Din sistemul (3.13) rezultă:

$$x_0 = \frac{y_2 - y_1 + x_1 \operatorname{tg} \theta_{10} - x_2 \operatorname{tg} \theta_{20}}{\operatorname{tg} \theta_{10} - \operatorname{tg} \theta_{20}} \quad (3.14)$$

$$y_0 = y_1 + (x_0 - x_1) \operatorname{tg} \theta_{10} = y_2 + (x_0 - x_2) \operatorname{tg} \theta_{20}$$

Pentru valori mari ale orientărilor se folosesc relațiile în cotangentă, obținute similar cu relațiile (3.14) și au forma:

$$y_0 = \frac{x_2 - x_1 + y_1 \operatorname{ctg} \theta_{10} - y_2 \operatorname{ctg} \theta_{20}}{\operatorname{ctg} \theta_{10} - \operatorname{ctg} \theta_{20}} \quad (3.15)$$

$$x_0 = x_1 + (y_0 - y_1) \operatorname{ctg} \theta_{10} = x_2 + (y_0 - y_2) \operatorname{ctg} \theta_{20}$$

Verificarea de teren a coordonatelor punctului P_0 este obligatorie și constă în aplicarea intersecției unghiulare din alte două puncte cunoscute sau dintr-un punct folosit la prima intersecție (P_1 sau P_2) și un al treilea punct cunoscut. Diferențele între coordonatele de același nume obținute din cele două intersecții nu trebuie să fie mai mari de ± 15 cm. Dacă această limită nu este depășită, valorile definitive se obțin prin medii aritmetice simple.

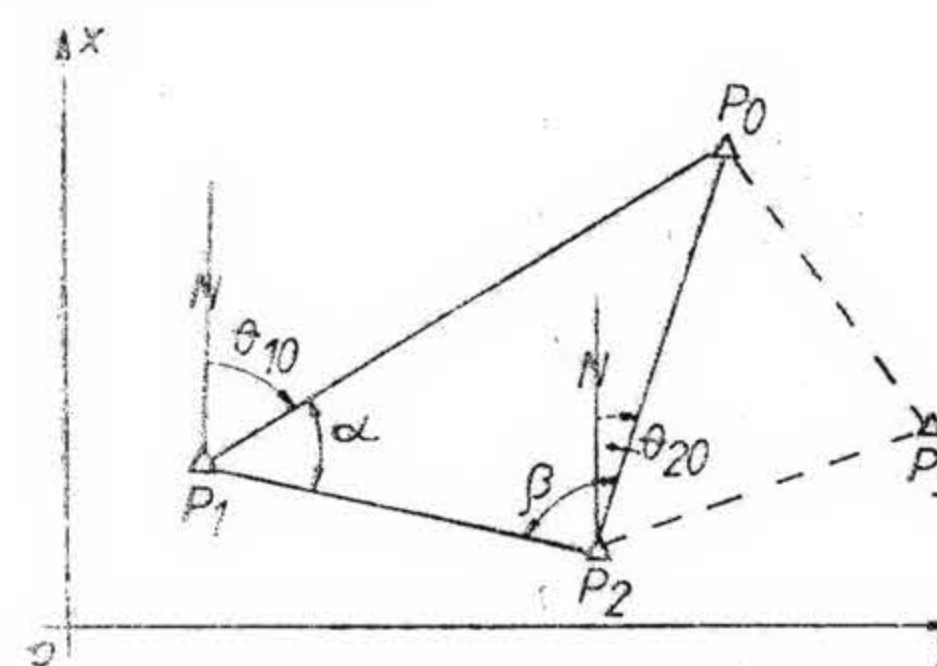


Fig. XV.19. Intersecția unghiulară.

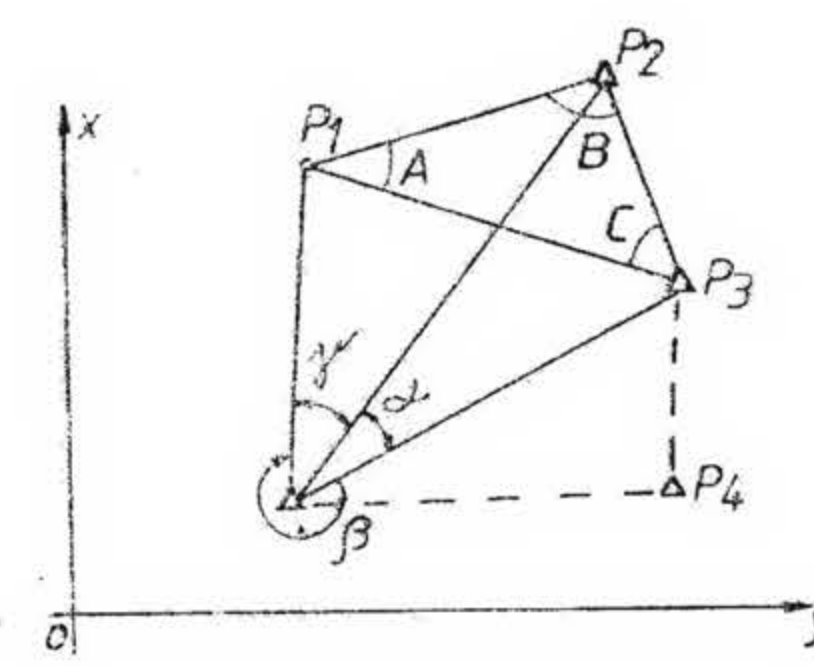


Fig. XV.20. Retrointersecția.

Coordonatele unui punct P_0 se obțin și în cazul în care sînt cunoscute coordonatele a trei puncte nestacionabile P_1 , P_2 , P_3 și unghiurile α și β măsurate în punctul P_0 (fig. XV.20).

Procedeul cel mai simplu de rezolvare utilizează relațiile:

$$x_0 = \frac{p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3}{p_1 + p_2 + p_3}; \quad y_0 = \frac{p_1y_1 + p_2y_2 + p_3y_3}{p_1 + p_2 + p_3} \quad (3.16)$$

în care:

$$p_1 = \frac{1}{\operatorname{ctg} A - \operatorname{ctg} \alpha}; \quad p_2 = \frac{1}{\operatorname{ctg} B - \operatorname{ctg} \beta};$$

$$p_3 = \frac{1}{\operatorname{ctg} C - \operatorname{ctg} \gamma} \quad (3.17)$$

Se observă, că unghiurile A , B , C se obțin din orientările direcțiilor determinate de punctele cunoscute, iar între notații există corespondența evidențiată de figură.

Este obligatoriu a fi efectuată verificarea de teren cu rezolvarea intersecției dintr-o altă combinație de 3 puncte cunoscute în care cel puțin un punct să fie diferit de primele trei puncte. Valorile definitive ale coordonatelor punctului P_0 se obțin ca în cazul precedent.

Metoda traseelor poligonale. Este metoda prin care se determină coordonatele unor puncte noi pe baza măsurărilor de unghiuri și distanțe. Unghiurile și distanțele sînt elementele geometrice definite de o succesiune de puncte legate între ele sub formă poligonală (fig. XV.21).

Funcție de numărul și natura elementelor geodezice cunoscute ca mărimi date (coordonate, orientări), se cunosc mai multe tipuri de trasee poligonale (fig. XV.21) și anume:

— traseu poligonal cu două puncte fixe și două orientări fixe (a);

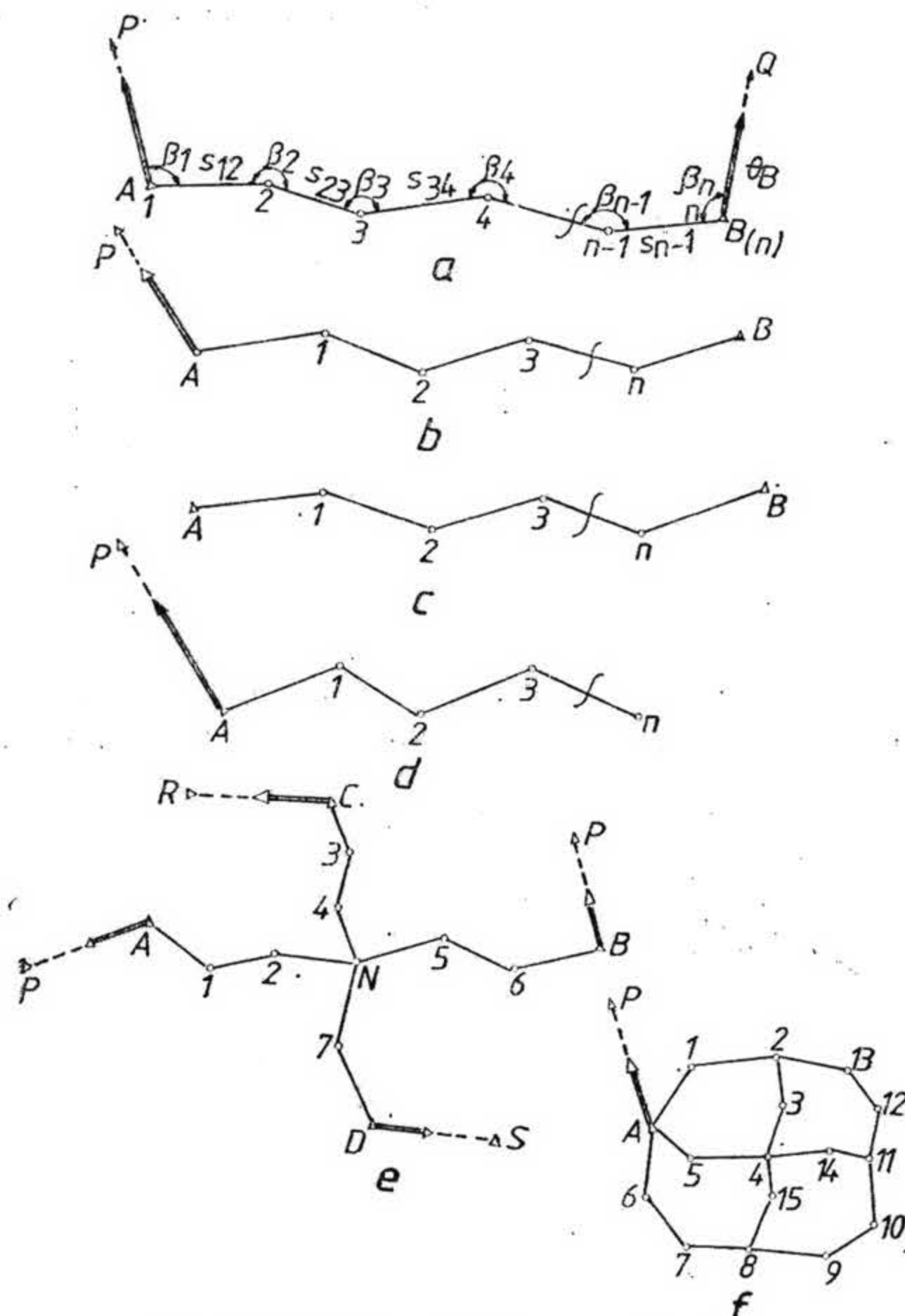


Fig. XV.21. Tipuri de trasee poligonale.

- traseu poligonal cu două puncte fixe și o orientare fixă (b);
- traseu poligonal cu două puncte fixe (c);
- traseu poligonal cu un punct fix și o orientare fixă (d);
- trasee poligonale cu un punct nodal sau mai multe puncte nodale (e);
- trasee poligonale acolate (f).

În dezvoltarea rețelelor de triangulație se întâlnesc frecvent trasee poligonale de tipul (a).

Aceste trasee realizează legătură între două puncte de triangulație de ordinul V, deci au o lungime medie de 2 km. Lungimea laturilor nu depășește 200 m, pentru a putea fi măsurate direct sau indirect cu dispozitivul autoreductor, în condiții de precizie ridicată.

Considerăm traseul poligonal cu punctele cunoscute (fixe) A și B și orientări fixe (cunoscute) θ_A și θ_B (fig. XV.21). Se notează unghiurile măsurate cu $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ și distanțele măsurate cu $s_{12}, s_{23}, \dots, s_{n-1,n}$.

Pentru determinarea coordonatelor punctelor ce formează traseul poligonal 2, 3, ..., n-1, se procedează astfel:

— se calculează orientările provizorii ale laturilor:

$$\theta'_{12} = \theta_A + \beta_1$$

$$\theta'_{23} = \theta'_{12} + \beta_2 = \theta'_{12} + \beta_2 \pm 200 = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 \pm 200$$

$$\theta'_{n-1,n} = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_{n-1} \pm (n-2) 200$$

$$\theta'_B = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n \pm (n-1) 200$$

— se stabilește diferența

$$\theta'_B - \theta_B = W_\beta$$

și se verifică condiția:

$$W_\beta \leq m_\beta \sqrt{n}$$

în care: m_β este eroarea medie pătratică de măsurare a unui unghi; n — numărul unghiurilor măsurate;

— se stabilește:

$$\frac{W_\beta}{n} = f_\beta$$

— se stabilesc orientările definitive:

$$\theta_{12} = \theta'_{12} + f_\beta$$

$$\theta_{23} = \theta'_{23} + 2f_\beta$$

$$\theta_{n-1,n} = \theta'_{n-1,n} + (n-1)f_\beta$$

— se stabilesc coordonatele provizorii ale punctelor

$$x'_2 = x_1 + s_{12} \cos \theta_{12}$$

$$y'_2 = y_1 + s_{12} \sin \theta_{12}$$

$$x'_B = x_1 + s_{12} \cos \theta_{12} + \dots + s_{n-1,n} \cos \theta_{n-1,n}$$

$$y'_B = y_1 + s_{12} \sin \theta_{12} + \dots + s_{n-1,n} \sin \theta_{n-1,n}$$

— se stabilesc diferențele:

$$x'_B - x_B = W_x; \quad y'_B - y_B = W_y$$

și se verifică condițiile:

$$W_x, W_y \leq \pm 5 \text{ cm } \sqrt{L}$$

unde L este lungimea traseului poligonal în sute de metri;

— se stabilesc

$$\frac{W_x}{[S]} = k_x; \quad \frac{W_y}{[S]} = k_y; \quad [S] = s_{12} + s_{23} + \dots + s_{n-1,n}$$

— se stabilesc coordonatele definitive

$$x_2 = x'_2 + s_{12} k_x$$

$$y_2 = y'_2 + s_{12} k_y$$

$$x_3 = x'_3 + (s_{12} + s_{23}) k_x$$

$$y_3 = y'_3 + (s_{12} + s_{23}) k_y$$

$$\dots \dots \dots$$

3.3. TRILATERAȚIA

Tehnica măsurătorilor de distanțe a evoluat și a cunoscut progrese importante în ultima perioadă. Construirea instrumentelor pe principii noi, bazate pe utilizarea undelor electromagnetice, electrooptice și undelor laser a permis lărgirea considerabilă a domeniului măsurătorilor de distanțe.

Astfel, este posibilă măsurarea în mod indirect a distanțelor de orice mărime cu mare precizie și în condiții mult variate. De asemenea, timpul în care sunt desfășurate operațiile de măsurare este relativ scurt, permițând o reducere considerabilă a perioadei de lucru în teren. Aceste avantaje permit înlocuirea cu mult succes a măsurătorilor unghiulare cu cele de distanțe, atât în probleme de triangulație geodezică cit și în probleme de dezvoltare a triangulațiilor geodezice. Înlocuirea măsurătorilor de unghiuri cu cele de distanțe în rețelele geodezice de sprijin a creat, implicit, metode noi de rezolvare a acestor rețele. A fost schimbată însăși denumirea, din rețele de triangulație în rețele de trilateratie.

3.3.1. COMPENSAREA LATURILOR ÎN REȚELELE DE TRILATERAȚIE

Compensarea mărimilor măsurate (laturilor) în scopul determinării valorilor lor probabile este, ca și în triangulație, operația de bază fără de care nu pot fi calculate coordonatele plane ale punctelor geodezice. Principiul compensării are la bază o relație

care leagă variațiile laturilor supuse compensării de variația unghiului dedus din ele. În consecință, condițiile geometrice impuse de o anumită formă de rețea sunt exprimate inițial în funcție de unghiurile ce intră în componența rețelei. Numărul acestor condiții este mult mai mic comparativ cu numărul necesar în rețelele de triangulație, mai ușor de stabilit și de scris.

Dacă rețeaua de puncte geodezice de forma unui poligon cu punct central (fig. XV.22) trebuie verificată prin metoda trilateratiei, deci în locul unghiurilor sunt măsurate laturile, numărul condițiilor geometrice se stabilește cu relația:

$$r = l - 2p + 3 \quad (3.18)$$

în care: l este numărul laturilor măsurate; p — numărul de puncte geodezice.

Înlocuind se obține:

$$r = 10 - 2 \cdot 6 + 3 = 1$$

Această condiție se referă la unghiurile din punctul P_6 și se numește *condiție de poligon cu punct central* și are forma:

$$(11) + (12) + (13) + (14) + (15) = 400'' \quad (3.19)$$

De regulă, pentru o formă simplă de rețea de trilateratie se scrie o condiție geometrică: condiție de patrulater, de unghi fix etc.

Folosind corecțiile unghiurilor din punctul P_6 , condiția (3.19) devine:

$$V_{11} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{15} + \omega = 0 \quad (3.20)$$

$$\text{unde: } \omega = 11 + 12 + 13 + 14 + 15 - 400$$

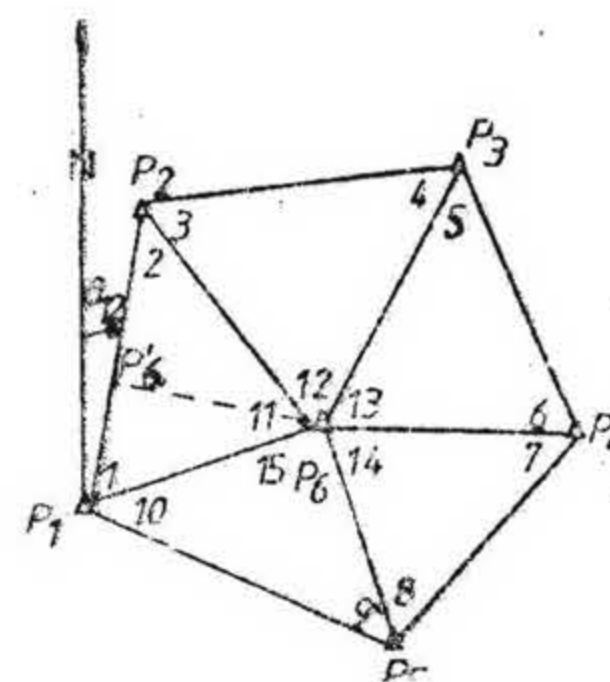


Fig. XV.22. Rețea de trilateratie.

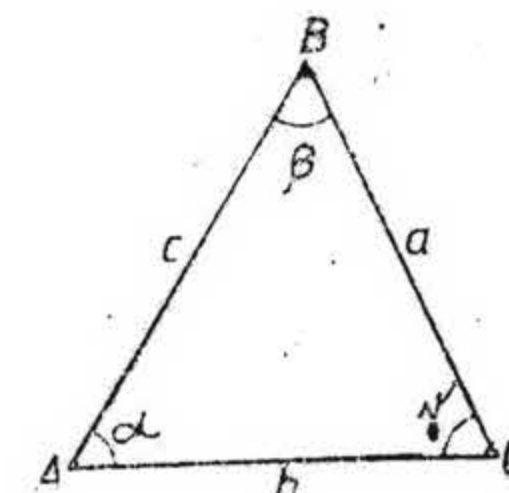


Fig. XV.23. Elementele unui triunghi.

Unghiurile 11., 12., ..., 15 sunt calculate din laturi, folosind relația generală:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad 2p = a + b + c \quad (3.21)$$

Notățiile din formula (3.21) corespund cu cele dintr-un triunghi general (fig. XV.23)

Prin logaritmare și diferențiere din (3.21) se obține o legătură între corecția unghiului α și corecțiile laturilor. Astfel :

$$V_{\alpha} = (A \cdot V_{12} + B \cdot V_{23} + C \cdot V_{31}) \rho^{cc} \quad (3.22)$$

unde :

$$\begin{aligned} A &= \frac{\sin \alpha}{4} \left(-\frac{1}{p} + \frac{1}{p-a} + \frac{1}{p-b} + \frac{1}{p-c} \right) \\ B &= \frac{\sin \alpha}{4} \left(-\frac{1}{p} - \frac{1}{p-a} - \frac{1}{p-b} - \frac{1}{p-c} \right) \\ C &= \frac{\sin \alpha}{4} \left(-\frac{1}{p} - \frac{1}{p-a} + \frac{1}{p-b} - \frac{1}{p-c} \right) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Considerind un sens de scriere (de la stînga la dreapta), corecțiile din (3.20) se obțin în funcție de corecțiile laturilor astfel :

$$\begin{aligned} V_{11} &= (A_1 V_{12} + B_1 V_{26} + C_1 V_{16}) \rho^{cc} \\ V_{12} &= (A_2 V_{23} + B_2 V_{36} + C_2 V_{26}) \rho^{cc} \\ V_{13} &= (A_3 V_{34} + B_3 V_{46} + C_3 V_{36}) \rho^{cc} \\ V_{14} &= (A_4 V_{45} + B_4 V_{56} + C_4 V_{46}) \rho^{cc} \\ V_{15} &= (A_5 V_{51} + B_5 V_{16} + C_5 V_{56}) \rho^{cc} \end{aligned} \quad (3.24)$$

Înlocuind egalitățile (3.24) în (3.20) rezultă :

$$\begin{aligned} &A_1 V_{12} + A_2 V_{23} + A_3 V_{34} + A_4 V_{45} + A_5 V_{51} + (B_1 + C_2) V_{26} + \\ &+ (B_2 + C_3) V_{36} + (B_3 + C_4) V_{46} + (B_4 + C_5) V_{56} + (B_5 + C_1) V_{16} = + \\ &+ \frac{\omega}{\rho^{cc}} = 0 \end{aligned} \quad (3.25)$$

Ecuția în corecțiile laturilor (3.25) se rezolvă conform teoriei măsurătorilor condiționate.

3.3.2. CALCULUL COORDONATELOR ÎN REȚELELE DE TRILATERAȚIE

În calculul coordonatelor punctelor se utilizează laturile compensate. Pentru calculul coordonatelor punctului P_6 (fig. XV.22) avem coordonatele punctelor P_1, P_2 și laturile de valori probabile $P_1 P_6$ și $P_2 P_6$. Se coboară o perpendiculară din P_6 pe $P_1 P_2$ în P'_6 . Utilizînd traseul $P_1 P'_6 P_6$ rezultă :

$$\begin{aligned} x_6 &= x_1 + P_1 P'_6 \cos \theta_{12} + P'_6 P_6 \sin \theta_{12} \\ y_6 &= y_1 + P_1 P'_6 \sin \theta_{12} - P'_6 P_6 \cos \theta_{12} \end{aligned} \quad (3.26)$$

unde :

$$\begin{aligned} P_1 P'_6 &= \frac{(P_1 P_6)^2 - (P_2 P_6)^2 + P_1 P_2^2}{2 P_1 P_2} \\ P'_6 P_6 &= \sqrt{(P_1 P_6)^2 - (P_1 P'_6)^2} \end{aligned} \quad (3.27)$$

3.3.3. DEZVOLTAREA REȚELELOR DE TRILATERAȚIE

Cele mai simple metode de determinare a coordonatelor unor puncte noi folosind distanțe măsurate sînt : metoda intersecției liniare simplă și metoda radierii.

Metoda intersecției liniare simplă. Este similară cu metoda intersecției unghiulare, cu deosebirea că în locul unghiurilor sînt măsurate distanțe.

Dacă sînt cunoscute coordonatele punctelor P_1, P_2 și distanțele de la aceste puncte la punctul P_0 (fig. XV.24), pot fi determinate coordonatele punctului P_0 . Pentru aceasta sînt utilizabile formulele (3.26) și (3.27).

Pentru verificarea coordonatelor este necesar un al treilea punct de coordonate cunoscute P_3 și distanța măsurată de la P_3 la P_0 . Se procedează în continuare ca în cazul intersecției unghiulare.

Metoda radierii. Utilizează unghiuri și distanțe (de orice mărime) măsurate.

Față de o direcție fixă $P_1 P_2$ (fig. XV.25), poziția punctului P_0 este bine determinată măsurînd unghiul α și distanța $P_1 P_0$.

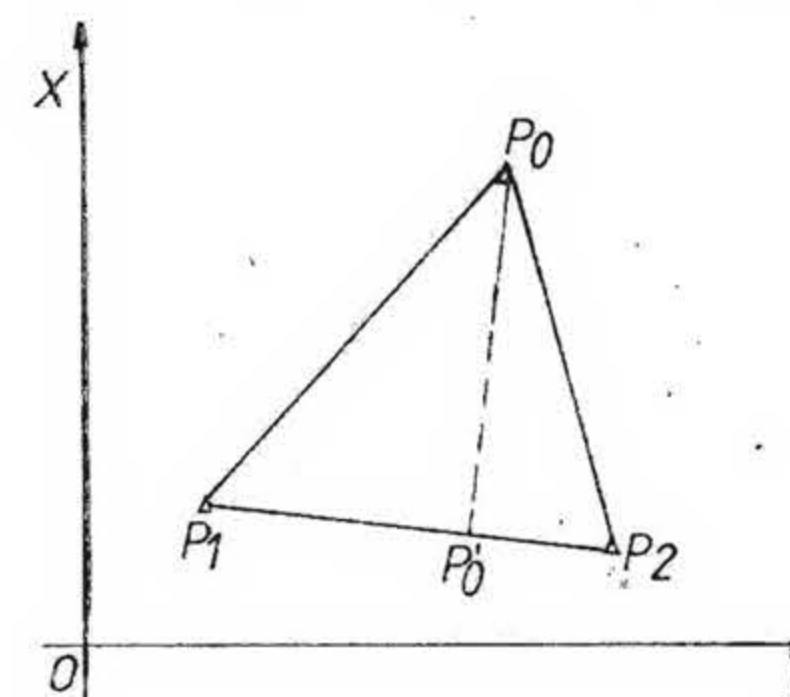


Fig. XV.24. Intersecția liniară simplă.

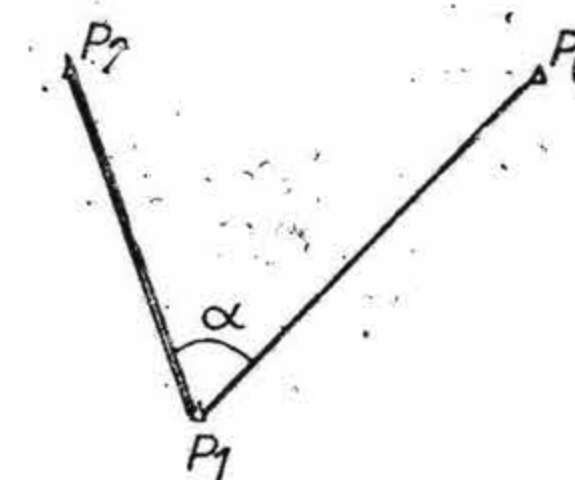


Fig. XV.25. Metoda radierii.

Măsurătorile de distanțe pe baza propagării undelor avînd o precizie mare, se impune ca și unghiurile să fie măsurate cu precizie de asemenea mare. În cazul laturilor mai lungi, pentru control și creșterea preciziei se măsoară, din punctul P_2 , unghiul β și distanța $P_2 P_0$, coordonatele definitive obținîndu-se din media aritmetică a celor două radieri.

3.4. POLIGONOMETRIA

Poligonometria constituie o metodă, ca și triangulația și trilateratia, de determinare a punctelor geodezice de bază care formează rețelele geodezice de sprijin.

Cu ajutorul acestei metode se determină coordonatele plane ale unui șir de puncte dispuse sub forma unei linii poligonale, folosind unghiurile măsurate în aceste puncte și laturile măsurate dintre ele.

Metoda poligonometriei poate fi folosită în dublu scop și anume:

- pentru determinarea punctelor geodezice de sprijin al căror ordin corespunde cu ordinul punctelor geodezice determinate prin metodele triangulației și trilateratiei;
- pentru determinarea punctelor geodezice situate în interiorul rețelelor geodezice de sprijin, cunoscute ca puncte de dezvoltare și au ordinul IV—V.

Având în vedere particularitățile metodei, precum și condițiile de relief specifice zonelor miniere, determinarea punctelor geodezice de ordin inferior prin poligonometrie constituie o cerință practică în rezolvarea problemelor de topografie minieră.

3.4.1. REALIZAREA TRASEELOR ȘI REȚELELOR POLIGONOMETRICE

Poligonometria se realizează sub forma unor trasee poligonale simple (fig. XV.26) sau sub forma unor rețele de trasee poligonale (fig. XV.27).

La realizarea traseelor și rețelelor poligonometrice se are în vedere următoarele:

1) Traseele poligonale să fie întinse. Abaterea punctelor unui traseu de la linia de legătură între punctele de capăt nu trebuie să fie mai mare de $1/3$ din lungimea lui.

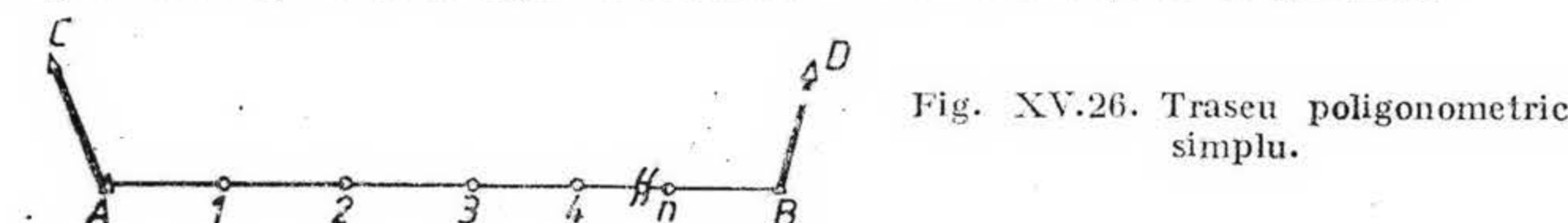


Fig. XV.26. Traseu poligonometric simplu.

2) Unghiurile măsurate în punctele traseelor poligonale nu trebuie să fie mai mici de 135° sau mai mari de 225° .

3) Eroarea de centrare în punctele de stație nu trebuie să depășească ± 1 mm.

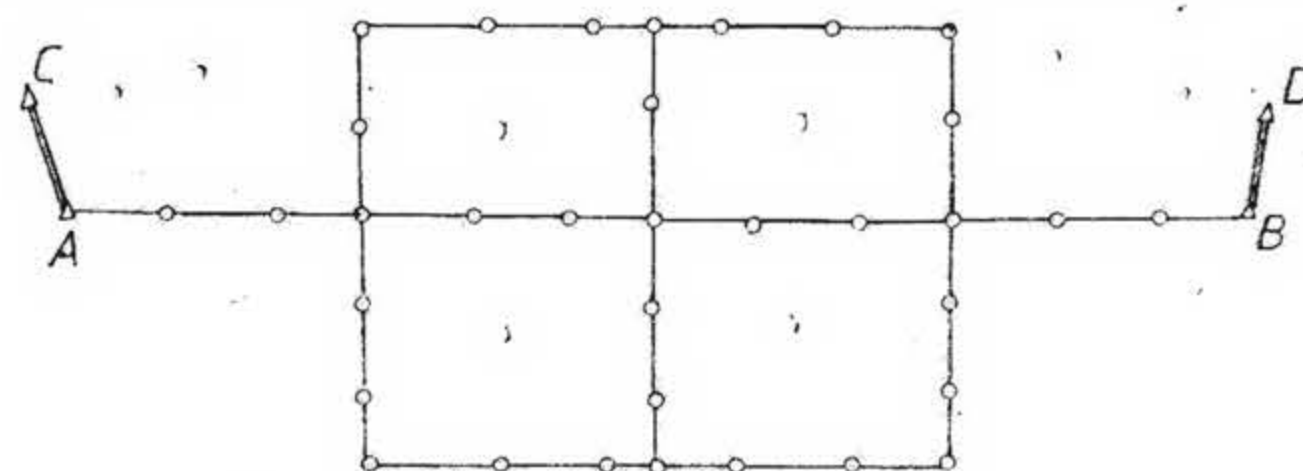


Fig. XV.27. Rețea poligonometrică.

4) Neînchiderea unghiulară nu poate depăși $6'' \sqrt{n}$ (unde n este numărul unghiurilor măsurate).

5) Laturile se măsoară de două ori, diferența între măsurători nu trebuie să fie mai mare de $1:25\,000$ din lungimea lor.

3.4.2. CONDIȚII DE APLICARE. AVANTAJE ȘI DEZAVANTAJE

În general, metoda poligonometriei este folosită în următoarele situații:

- când punctele geodezice ce trebuiesc determinate au o dispunere longitudinală;
- când dezvoltarea rețelelor geodezice prin metodele triangulației și trilateratiei nu poate fi executată;
- când se cere transmiterea coordonatelor dintr-un punct cunoscut într-un punct nou.

Metoda poligonometriei, în comparație cu metodele triangulației și trilateratiei, prezintă o serie de avantaje și anume:

- costul lucrărilor este mai redus, datorită numărului redus de puncte pe aceeași suprafață și al randamentului ridicat;
- este mai flexibilă, pretindu-se mai mult la condiții de relief;

Dezavantajele metodei poligonometriei se referă la:

- posibilități reduse de control pentru verificarea măsurătorilor;
- posibilitățile de cumulare a erorilor pe orientări sînt mai mari.

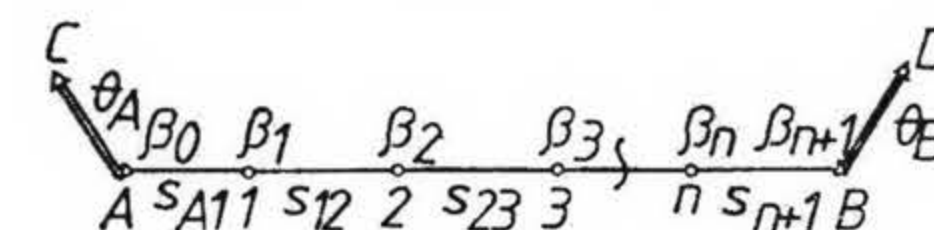
3.4.3. REZOLVAREA TRASEELOR ȘI REȚELELOR POLIGONOMETRICE

Rezolvarea traseelor și rețelelor poligonometrice presupune mai întîi compensarea măsurătorilor și după aceea determinarea coordonatelor punctelor.

Metoda cu aplicare largă în compensare este metoda măsurătorilor condiționate, datorită volumului mai redus de calcul în comparație cu metoda măsurătorilor indirecte.

Se consideră un traseu poligonometric (fig. XV.28) în care sînt date coordonatele punctelor A și B și orientările θ_A și θ_B , sînt măsurate unghiurile β și distanțele s .

Fig. XV.28. Elementele unui traseu simplu poligonometric.



Avînd în vedere că sînt măsurate în plus trei mărimi (unghiurile β_n , β_{n+1} și distanțele s_{nB}) vor exista 3 condiții geometrice care conduc la ecuațiile:

$$[V_\beta] + W_\beta = 0$$

$$[V_s \cos \theta] - \frac{1}{\rho''} [(y_B - y) V_\beta] + W_x = 0 \quad (3.28)$$

$$[V_s \sin \theta] + \frac{1}{\rho''} [(x_B - x) V_\beta] + W_y = 0$$

în care: V_β sînt corecțiile unghiurilor; V_s —corecțiile distanțelor; x, y —coordonele punctelor traseului poligonometric; W_x, W_y —neînchiderile pe coordonatele punctului B .

Sistemul de ecuații (3.28) se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate, în care scop se consideră:

$$\begin{aligned} - \text{ponderile unghiurilor } p_\beta &= \frac{1}{m_\beta^2} \\ - \text{ponderile distanțelor } p_s &= \frac{1}{m_s^2} \end{aligned} \quad (3.29)$$

unde m_β și m_s sint erorile medii pătratice de măsurare a unghiurilor, respectiv distanțelor. Ponderile din (3.29) pot fi scrise și altfel:

$$p_\beta = \frac{1}{m_\beta^2}; \quad p_s = \frac{1}{(f\sqrt{s})^2}$$

sau:

$$p_\beta = 1; \quad p_s = \frac{\mu^2}{s}; \quad \left(\mu = \frac{m_\beta}{f} \right) \quad (3.30)$$

Cu ponderile din (3.30) și cu coeficienții corecțiilor din (3.28) notați literar cu a , b , c se obține sistemul de ecuații normale

$$\begin{aligned} \left[\frac{aa}{p} \right] k_1 + \left[\frac{ab}{p} \right] k_2 + \left[\frac{ac}{p} \right] k_3 + W_\beta &= 0 \\ \left[\frac{bb}{p} \right] k_2 + \left[\frac{bc}{p} \right] k_3 + W_x &= 0 \\ \left[\frac{cc}{p} \right] k_3 + W_y &= 0 \end{aligned} \quad (3.31)$$

Din sistemul (3.31) rezultă corelatele k_1 , k_2 , k_3 cu care se determină corecțiile mărimilor măsurate. Astfel:

$$V_i = \frac{1}{p_i} (a_i k_1 + b_i k_2 + c_i k_3); \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.32)$$

unde N este numărul total al unghiurilor și laturilor măsurate.

Se calculează valorile compensate ale unghiurilor și distanțelor lor și în cele din urmă cu acestea se calculează coordonatele punctelor poligonometrice.

În cazul rețelelor poligonometrice important, în primul rând, este stabilirea numărului de condiții geometrice care, ca natură sînt, ca și în cazul precedent, condiții de unghiuri și de coordonate.

Se folosesc în acest scop relațiile:

$$\begin{aligned} - \text{condiții de unghiuri: } r_1 &= (P + R - 1) + Q \\ - \text{condiții de coordonate: } r_2 &= 2(P + R - 1) \end{aligned} \quad (3.33)$$

în care: P este numărul poligoanelor închise; R — numărul de puncte cunoscute în care există și orientări cunoscute; Q — numărul punctelor nodale cu orientări cunoscute. De exemplu, considerînd o rețea poligonometrică (fig. XV.29) cu:

$$P = 1; R = 4; Q = 1$$

se obține:

$$r_1 = 1 + 4 - 1 + 1 = 5$$

$$r_2 = 2(1 + 4 - 1) = 8$$

În scrierea condițiilor geometrice se aleg traseele care conțin cît mai puține necunoscute. Astfel:

— pentru condițiile de unghiuri traseele: AaB , CaB , Cb , Db , Aab ;

— pentru condițiile de coordonate traseele: AaB , CbD , AaC , BaD .

Corespunzător acestor condiții geometrice se scriu ecuații de erori de forma celor din (3.28), iar sistemul de ecuații format se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate, obținîndu-se corecțiile mărimilor măsurate.

În continuare se compensează unghiurile și distanțele, iar în final se calculează coordonatele punctelor.

Pentru punctele nodale trebuie să rezulte aceleași coordonate, indiferent de drumul parcurs pentru calculul acestora.

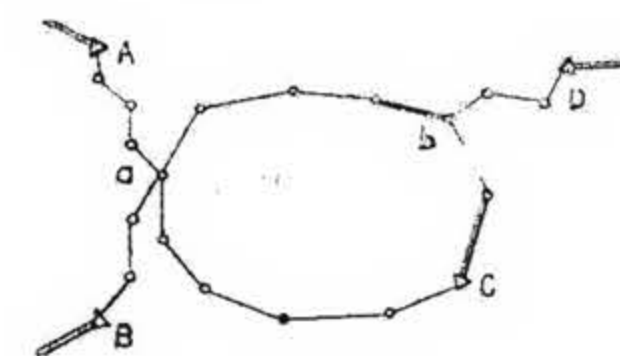


Fig. XV.29. Exemplu de rețea poligonometrică.

3.5. NIVELMENT

3.5.1. SUPRAFAȚA DE NIVEL ZERO. SUPRAFAȚA DE NIVEL. ALTITUDINI.

Altitudinile (cotele) punctelor de pe suprafața Pămîntului se determină față de suprafața de nivel zero, respectiv față de suprafața care coincide cu aceea a mărimilor deschise și oceanelor în starea lor de echilibru prelungită pe sub continente.

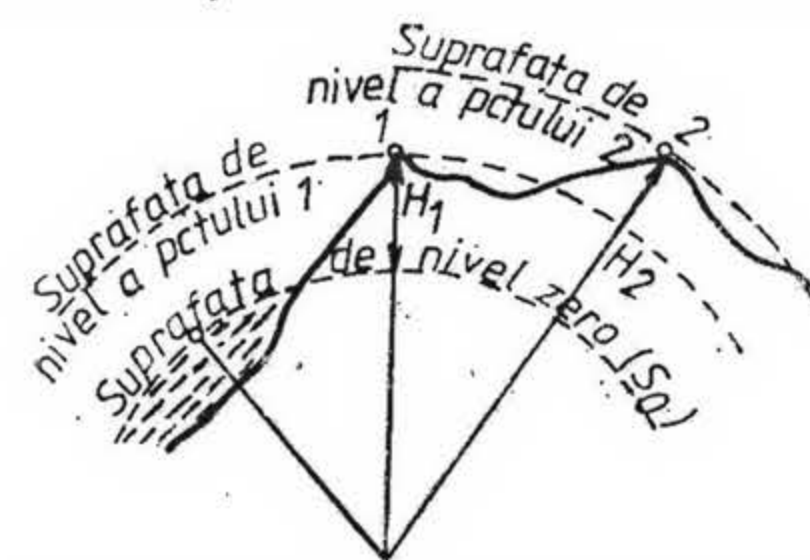


Fig. XV.30. Cotele punctelor în cazul suprafeței sferice de nivel.

Matematic, nivelul de echilibru este materializat prin puncte fixe aflate pe malul oceanelor și mărilor. La malul Mării Negre există un asemenea punct numit *zero fundamental*. Pornind de la acest punct se determină cotele tuturor punctelor situate în țara noastră.

Suprafața care este normală în fiecare punct al ei la direcția verticalei (la direcția forței gravitației) se numește *suprafață de nivel*.

Se numește *altitudine* sau *cotă absolută* a unui punct topografic, distanța în metri, pe verticală a punctului, cuprinsă între suprafața de nivel zero și suprafața de nivel ce trece prin

punctul considerat (cotele H_1 și H_2 din fig. XV.30).

Înălțimile raportate la o suprafață de nivel se numesc *relative*.

Suprafețele de nivel pot fi considerate sferice în cazul nivelmetrului desfășurat pe distanțe de ordinul kilometrilor sau plane atunci când se desfășoară pe întinderi mici.

3.5.2. CORECȚII DE NIVELMENT

În cazul suprafețelor de nivel sferice, asupra observațiilor de nivelment se aplică corecția C_t ce rezultă :

$$C_t = C_s - C_r$$

unde : C_s este corecția de sfericitate ; C_r — corecția datorită refracției atmosferice.

Avind în vedere că :

$$C_s = \frac{D^2}{2R} \text{ și } C_r = K \frac{D^2}{2R}$$

rezultă :

$$C_t = (1 - k) \frac{D^2}{2R}$$

unde : D este distanța între punctele de nivelment ; R — raza Pământului egală aproximativ cu 6 379 km ; K — coeficientul de refracție atmosferică egală cu 0,13.

3.5.3. FELURILE NIVELMENTULUI

În funcție de instrumentul și metoda utilizată, se deosebesc în principal următoarele feluri de nivelment : *geometric* și *trigonometric*.

Indiferent de felul nivelmentului, problema se pune în scopul obținerii pe bază de măsurători a diferenței de înălțime (diferență de nivel) între două puncte cu ajutorul căreia să rezulte :

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

Nivelmentul geometric se bazează pe principiul vizei orizontale a instrumentului.

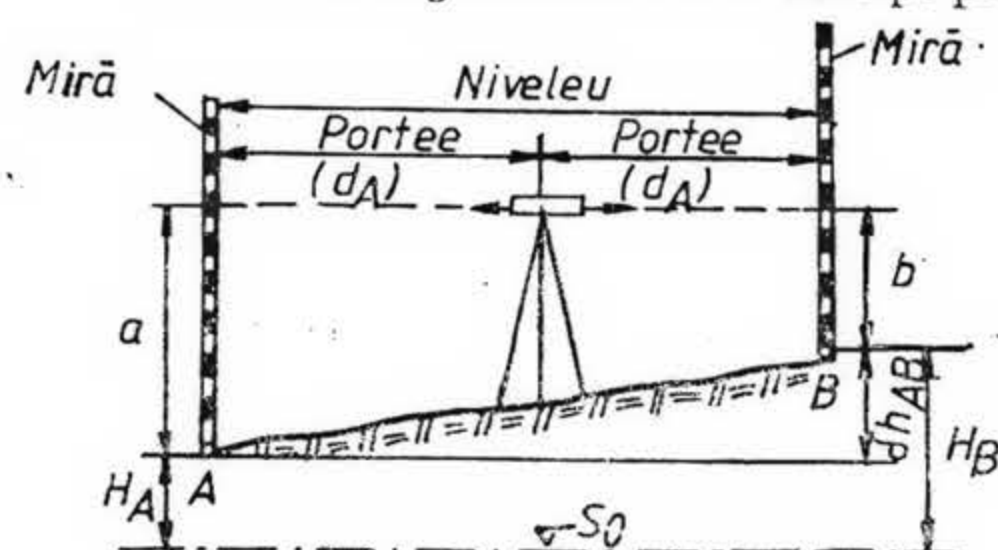


Fig. XV.31. Nivelment geometric.

Diferența de nivel h_{AB} dintre două puncte A și B se obține din diferența citirilor pe mire ținute vertical în punctele A și B , după ce s-a realizat orizontalitatea axei de vizare a instrumentului de nivelment (fig. XV.31). Distanța între punctele A și B nu trebuie să fie mai mare de 300 m.

Nivelmentul geometric este cel mai precis nivelment.

Nivelmentul trigonometric. Diferența de nivel dintre două puncte se determină cu ajutorul unghiului vertical (φ) măsurat cu teodolitul instalat într-unul din puncte.

Pe o miră gradată situată vertical în celălalt punct se poate citi la înălțimea instrumentului, în cazul distanțelor mici obținând :

$$h_{12} = D \operatorname{tg} \varphi$$

sau la baza semnalului propriu-zis al balizelor, piramidelor etc, în cazul distanțelor mari obținând :

$$h_{12} = D \operatorname{tg} \varphi + i - L + (1 - K) \frac{D^2}{2R}$$

unde : i este înălțimea aparatului, iar L — înălțimea semnalului.

4. LUCRĂRI DE TOPOGRAFIE MINIERĂ

Ansamblul de lucrări aferente prospectării, explorării, deschiderii, pregătirii și exploatarea zăcămintelor de substanțe minerale utile este condus din punct de vedere tehnico-ingineresc pe baza lucrărilor topografice miniere. Totalitatea acestor lucrări topografice, în cadrul unui bazin minier, trebuie să aibă un caracter unitar atât la suprafață cât și în subteran, în întreaga desfășurare a activității miniere.

Lucrările topografice miniere sînt diferențiate în lucrări *planimetrice* și lucrări *nivelitice*, în scopul constituirii osaturii de sprijin, și dependent de aceasta *redicarea topografică*, *proiectarea și conducerea în execuție a lucrărilor miniere*, *urmărirea efectelor fenomenelor de echilibrare a rocilor și deformarea suprafeței sub influența spațiului subteran* etc.

4.1. PLANIMETRIE SUBTERANĂ

Constă din lucrări topografice de determinare a coordonatelor (x, y) pentru punctele rețelei topografice subterane. În acest sens, la suprafața bazinului minier este constituită o rețea geodezică de sprijin formată din puncte de ordinul IV și V și o serie de puncte noi, încadrate în apropierea gurilor de acces în subteran.

Față de galeriile de coastă, punctele geodezice de sprijin nu trebuie să fie la o distanță mai mare de 150 m, iar față de puțurile verticale la mai mult de 30 m și aceasta pentru a permite, după caz, transmiterea sistemului planimetric de coordonate în subteran.

4.1.1. TRANSMITERI DE COORDONATE ȘI ORIENTĂRI ÎN SUBTERAN

Sistemul planimetric poate fi considerat transmis în subteran prin lucrări miniere atunci când în subteran au fost materializate cel puțin două puncte topografice la care s-au determinat coordonatele primului punct și orientarea dintre cele două puncte. Ale-

gereea metodelor pentru transmiterea de coordonate și orientări se face funcție de tipul de lucrare minieră de acces în subteran. În general, sînt cunoscute mai multe posibilități, dintre care cele mai importante sînt: legătura prin galerie de coastă (plan înclinat, puț înclinat etc.); legătura prin două puțuri verticale de mină; legătura pe un singur puț vertical de mină.

4.1.1.1. Legătura pe galeria de coastă

Acest gen de legătură necesită la suprafață cunoașterea unui punct A , dat prin coordonatele sale planimetrice (x_A, y_A) și o orientare de pornire θ_0 , sprijinită pe acesta. Metoda de legătură utilizată este metoda radierii simple (fig. XV.32), care impune ca elemente măsurate: unghiul orizontal β_0 și distanța orizontală s_1 .

$$\text{Calculul orientării: } \theta_{A1} = \theta_0 + \beta_0 \quad (4.1)$$

$$\text{Calculul coordonatelor punctului radiat } \odot_1 \begin{cases} x_1 = x_A + s_1 \cos \theta_1 \\ y_1 = y_A + s_1 \sin \theta_1 \end{cases} \quad (4.2)$$

Ca atare, sistemul este bine stabilit în subteran prin orientare

$$\theta_{1A} = \theta_{A1} + 200^g \quad (4.3)$$

și coordonatele corespunzătoare punctului subteran $\odot_1 (x_1, y_1)$.

În subteran sînt constituite în continuarea radierii diferite tipuri de drumuri planimetrice tratate corespunzător (§ 4.1.3.1) (§ 4.1.3.2) (§ 4.1.3.4) sau în alte condiții (§ 4.1.3.5) și (§ 4.1.3.6).

Transmiterea erorilor punctuale și pe orientări este corespunzătoare metodei radierii simple (§ 4.1.1.1.).

Abaterile pe orientare $m_{\theta_{A1}}$ a laturii nou determinate θ_{A1} este dată de relația:

$$m_{\theta_{A1}} = \pm \sqrt{m_{\theta_0}^2 + m_{\beta_0}^2} \quad (4.4)$$

în care: m_{θ_0} este eroarea orientării inițiale luată din protocolul triangulației, sau expresiv:

$$m_{\theta_0} = \pm \frac{m_{x,y}}{D} \quad (4.5)$$

unde: $m_{x,y}$ este eroarea de încadrare a punctului vizat ($\max \pm 15 \text{ cm}$); D — lungimea vizei (de la punctul A la P); m_{β_0} — eroarea de măsurare a unghiului β_0 ; poate fi luată cu bune rezultate;

$$m_{\beta_0} = \pm (2 - 5) p_a \quad (4.6)$$

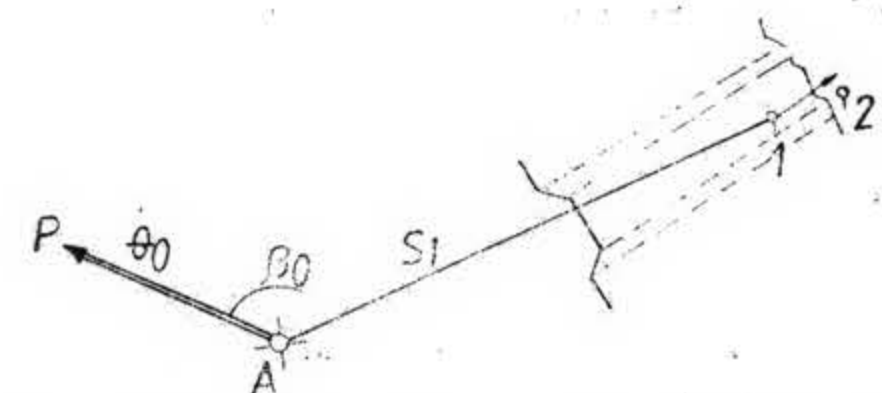


Fig. XV.32. Legătura prin galerie de coastă.

unde: (2-5) este coeficient de omogenizare, 2 pentru aparate mai puțin precise unde $p_a = \pm 50^{\text{ce}}$ și 5 pentru $p_a = \pm 2^{\text{ce}}$; p_a — precizia aparatului.

Abaterile pentru coordonate vor fi calculate cu relațiile:

$$m_{x1} = \pm \sqrt{m_{x_A}^2 + f^2 \Delta x_{A1}^2 + \Delta y_{A1}^2 \left(\frac{m_{\theta_{A1}}}{\rho^{\text{ce}}} \right)^2} \quad (4.7)$$

și

$$m_{y1} = \pm \sqrt{m_{y_A}^2 + f^2 \Delta y_{A1}^2 + \Delta x_{A1}^2 \left(\frac{m_{\theta_{A1}}}{\rho^{\text{ce}}} \right)^2}$$

unde: m_{x_A}, m_{y_A} sînt erorile de încadrare a punctului A , care pot fi luate cu aproximație

$$m_x = m_y = \pm \frac{15 \text{ cm}}{2} \quad (4.8)$$

$$f = \frac{1}{2000 - 5000} \text{ — eroarea unitară de măsurare a distanțelor:}$$

- pentru suprafață: $\frac{1}{5000}$
- pentru subteran: $\frac{1}{2000}$

(4.9)

Δx_{A1} și Δy_{A1} — sînt relativele pe x și respectiv pe y de la A pînă la punctul încadrat 1

În mod corespunzător se va face studiul pentru drumurile în continuare (§ 4.1.3.1) (§ 4.1.3.4).

4.1.1.2. Legătura pe două puțuri verticale de mină

În apropierea fiecărui puț există din rețeaua de apropiere, cel puțin un punct și o orientare de sprijin. În fiecare puț se lestează cîte un fir (fig. XV.33) a căror coordonate în sistemul general al minei se determină cît mai precis prin metoda radierii simple (§ 4.1.1.1), coordonate care datorită proiectării rămîn aceleași și în subteran.

La nivelul orizontului subteran se constituie, între cele două puțuri, poligonația minieră (§ 4.1.2.3).

Transmiterea erorilor pe coordonate se face urmînd propagarea acestora de la punctele încadrate la suprafață prin radiere simplă (§ 4.1.1.1), lucrări de proiectare (§ 4.1.2) și poligonație minieră (§ 4.1.3.3.).

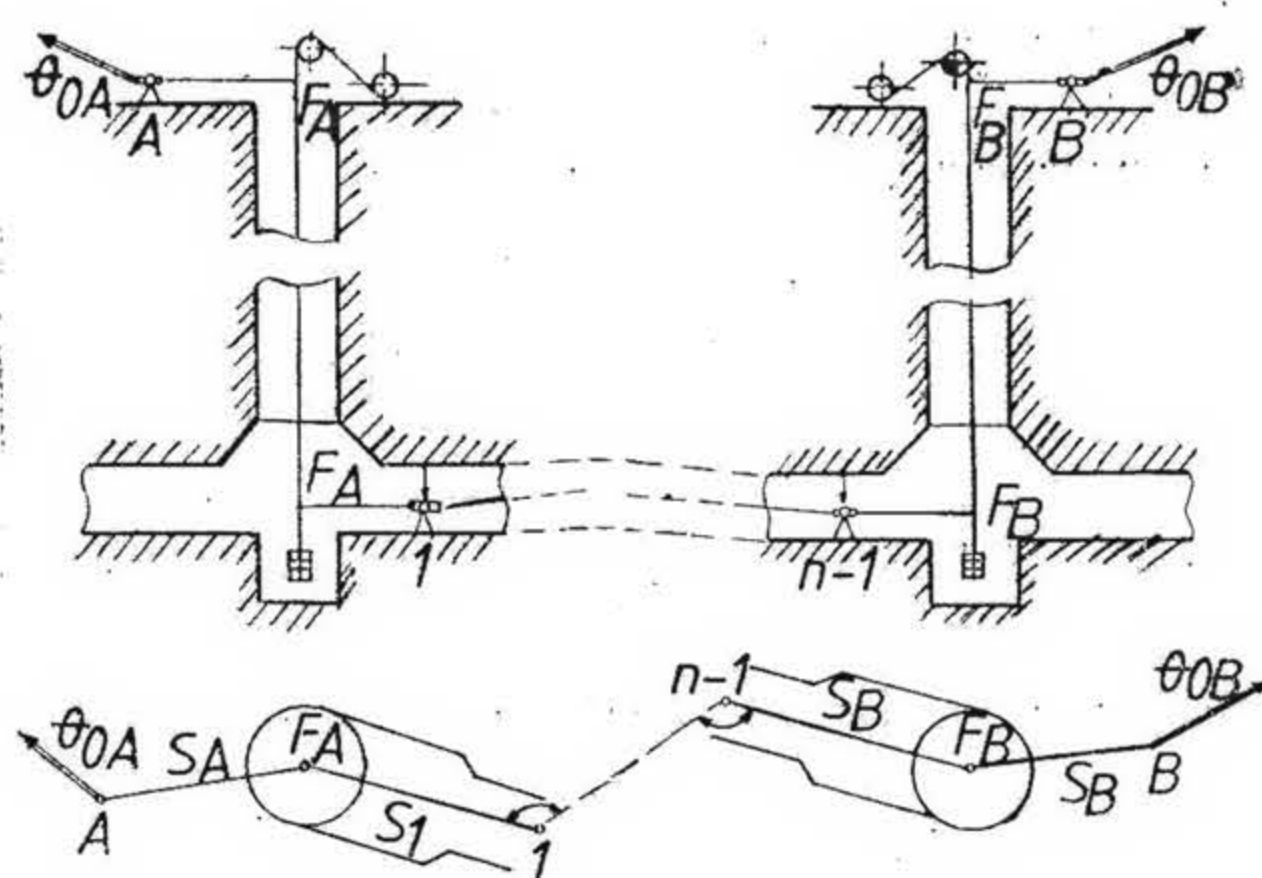


Fig. XV.33. Legătura prin două puțuri verticale de mină în subteran.

4.1.1.3. Legătura pe un singur puț vertical de mină

Se realizează prin lestarea, în secțiunea puțului, a două fire metalice cât mai îndepărtate între ele. Punctul încadrat la suprafață și cele două fire lestate vor forma un triunghi de legătură (fig. XV.34).

Triunghiul de legătură la suprafață. În apropierea fiecărui puț există cel puțin un punct încadrat din rețeaua de apropiere, necesar transmiterii de coordonate și orientări.

Elementele cunoscute sînt punctul $A(x_A, y_A)$ și orientarea inițială θ_0 .

Elementele măsurate:

- unghiurile β_I și β_{II} ;
- distanțele a , b și c — laturile triunghiului.

Se calculează coordonatele celor două fire F_1 și F_2 prin metoda radierii simple § 4.1.1.1., (§4. 2).

Orientarea dintre fire θ_{12} nu se va determina niciodată din coordonatele celor două fire, ci se va calcula prin însumarea la orientarea inițială a unghiurilor măsurate și calculate.

Se calculează:

$$\gamma = \beta_{II} - \beta_I \quad (4.10)$$

Funcție de forma triunghiului de legătură se aplică una din relațiile trigonometrice cunoscute, astfel:

— pentru triunghi alungit (γ foarte mic; α tinde către 200° și totodată β foarte mic, sau invers) se folosesc relațiile:

$$\sin \alpha' = a \frac{\sin \gamma}{c}; \quad \sin \beta' = b \frac{\sin \gamma}{c} \quad (4.11)$$

— pentru triunghi alungit isoscel (γ foarte mic; α și β tind către unghi drept) se folosesc relațiile:

$$\cos \alpha' = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \quad \cos \beta' = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \quad (4.12)$$

— pentru triunghi isoscel ce tinde către echilateral, se folosesc relațiile:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad \operatorname{tg} \frac{\beta'}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}} \quad (4.13)$$

în care: $p = \frac{a+b+c}{2}$

rezultind astfel: α' și β' unghiuri calculate din elemente măsurate.

Se compensează unghiurile în triunghi:

$$\alpha' + \beta' + \gamma = 200^\circ \pm W \quad (4.14)$$

Unghiurile definitive vor fi:

$$\alpha = \alpha' \pm \frac{W}{2}; \quad \beta = \beta' \pm \frac{W}{2} \quad (4.15)$$

Se calculează orientarea dintre fire:

$$\theta_{12} = \theta_0 + \beta_I - \alpha + 200^\circ = \theta_0 + \beta_I + \beta \quad (4.16)$$

orientare ce rămîne aceeași și pentru subteran.

Triunghiul de legătură din subteran. Elementele cunoscute sînt cele determinate la zi și anume (fig. XV.35):

- perechile de coordonate pentru firele lestate $F_1(x_{F1}, y_{F1})$ și $F_2(x_{F2}, y_{F2})$;
- orientarea dintre fire θ_{12} .

Elementele măsurate identic ca la triunghiul de la suprafață:

- unghiurile β_I și β_{II} ;
- distanțele a , b și c — laturile triunghiului.

Se rezolvă triunghiul de legătură, astfel:

$$\gamma = \beta_{II} - \beta_I$$

Se calculează unghiurile α și β după forma triunghiului cu relațiile corespunzătoare (4.11), (4.12) sau (4.13) și se compensează după (4.14), (4.15).

Se calculează orientările către punctul subteran $\odot 501$

$$\theta_{F1, 501} = \theta_{12} - \beta; \quad \theta_{F2, 501} = \theta_{12} + \alpha + 200^\circ \quad (4.17)$$

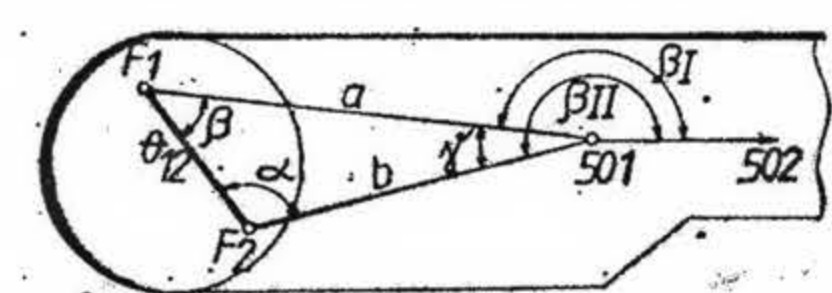


Fig. XV.35. Juncțiunea în subteran prin triunghi de legătură.

și orientarea laturii $\theta_{501, 502}$:

$$\theta_{501, 502} = \theta_{12} - \beta + \beta_1 + 200^\circ = \theta_{12} + \alpha \quad (4.18)$$

Orientări cu ajutorul cărora vor fi calculate coordonatele punctului $\odot 501$:

— din coordonatele firului F_1 rezultă:

$$\odot 501 \begin{cases} x_{501}^{F_1} = x_{F_1} + a \cos \theta_{F_1, 501} \\ y_{501}^{F_1} = y_{F_1} + a \sin \theta_{F_1, 501} \end{cases} \quad (4.19)$$

— din coordonatele firului F_2 rezultă:

$$\odot 501 \begin{cases} x_{501}^{F_2} = x_{F_2} + b \cos \theta_{F_2, 501} \\ y_{501}^{F_2} = y_{F_2} + b \sin \theta_{F_2, 501} \end{cases} \quad (4.20)$$

Valorile cele mai probabile vor fi mediile aritmetice ale celor două determinări:

$$x_{501} = \frac{x_{501}^{F_1} + x_{501}^{F_2}}{2}; \quad y_{501} = \frac{y_{501}^{F_1} + y_{501}^{F_2}}{2} \quad (4.21)$$

Legătura între rețeaua topografică de la suprafață și cele două fire lestate în secțiunea puțului, când condițiile permit, poate fi realizată și prin intermediul patrulaterului de legătură. Astfel, la suprafață sunt cunoscute fie un punct încadrat și o orientare și se mai alege un punct ajutător fie două puncte încadrate în rețeaua geodezică.

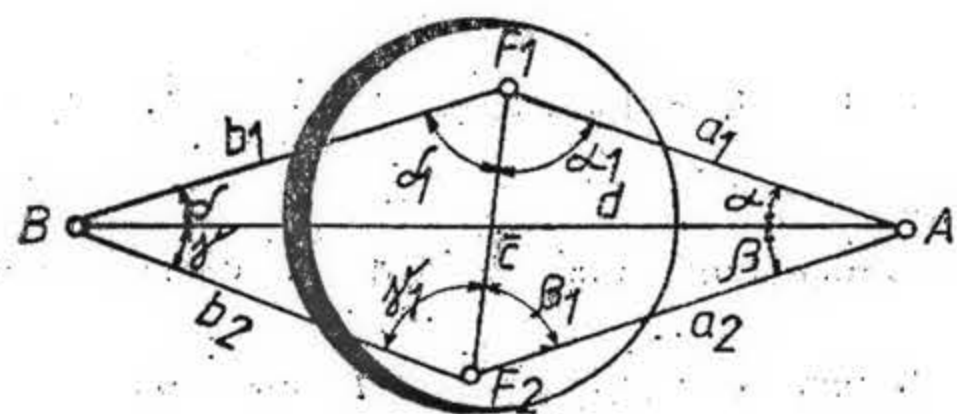


Fig. XV.36. Patrulater bilateral la suprafață.

Ca formă, patrulaterul poate fi bilateral (fig. XV.36), când cele două puncte se găsesc lateral față de firele lestate, sau unilateral (fig. XV.37), când cele două puncte se găsesc de o singură parte a firelor.

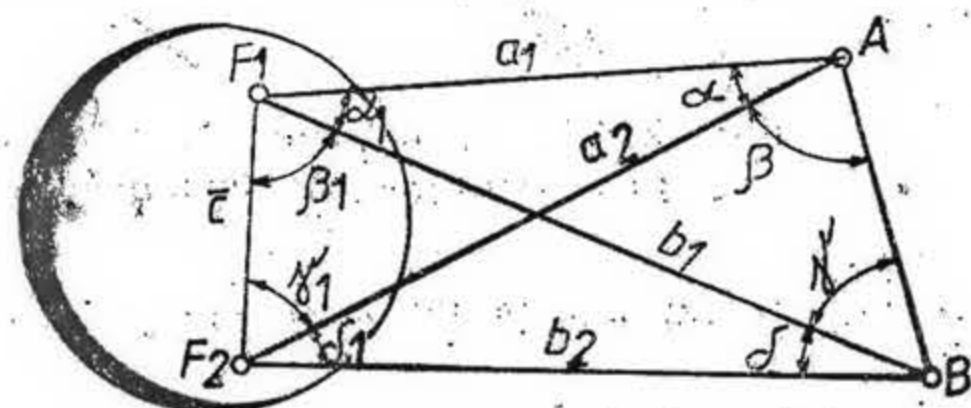


Fig. XV.37. Patrulater unilateral la suprafață.

Elementele cunoscute sînt: punctul A cu coordonatele plane (x_A, y_A) și orientarea θ_{AB} .

Elementele măsurate:

— unghiurile $\alpha, \beta, \gamma, \delta$;

— toate laturile posibile a_1, a_2, b_1, b_2, c, d .

Se calculează prin radiere simplă coordonatele punctului ajutător și coordonatele firelor F_1 și F_2 lestate în secțiunea puțului.

Se calculează mărimea unghiurilor cu vârful în firele lestate, fie prin aplicarea relațiilor corespunzătoare de la triunghiul de legătură (4.11) (4.16), utilizînd laturile măsurate și unghiurile, fie făcîndu-se apel la relațiile (4.22) — (4.25) utilizînd numai unghiurile măsurate:

— pentru patrulaterul bilateral:

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \alpha'_1 &= \frac{\sin \delta \sin (\beta + \gamma)}{\sin \gamma \sin (\alpha + \delta) \sin (\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg} (\alpha + \beta) \\ \operatorname{ctg} \beta'_1 &= \frac{\sin \gamma \sin (\alpha + \delta)}{\sin \delta \sin (\beta + \gamma) \sin (\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg} (\alpha + \beta) \\ \operatorname{ctg} \gamma'_1 &= \frac{\sin \beta \sin (\alpha + \delta)}{\sin \alpha \sin (\beta + \gamma) \sin (\gamma + \delta)} - \operatorname{ctg} (\gamma + \delta) \\ \operatorname{ctg} \delta'_1 &= \frac{\sin \alpha \sin (\beta + \gamma)}{\sin \beta \sin (\alpha + \delta) \sin (\gamma + \delta)} - \operatorname{ctg} (\gamma + \delta) \end{aligned} \quad (4.22)$$

compensarea unghiurilor constînd în:

$$\begin{aligned} \alpha'_1 + \beta'_1 + \gamma'_1 + \delta'_1 &= 400 \pm W \\ \alpha_1 &= \alpha'_1 \mp \frac{W}{4}; \quad \beta_1 = \beta'_1 \mp \frac{W}{4}; \\ \gamma_1 &= \gamma'_1 \mp \frac{W}{4}; \quad \delta_1 = \delta'_1 \mp \frac{W}{4} \end{aligned} \quad (4.23)$$

— pentru patrulaterul unilateral:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 200^\circ - (\alpha + \beta + \gamma); \quad \delta_1 = 200^\circ - (\beta + \gamma + \delta) \\ \operatorname{ctg} \beta'_1 &= \frac{\sin \delta_1 \sin (\alpha + \beta)}{\sin \delta \sin \alpha_1 \sin \beta} - \operatorname{ctg} \delta; \quad \operatorname{ctg} \gamma'_1 = \frac{\sin \alpha_1 \sin (\gamma + \delta)}{\sin \gamma \sin \delta_1 \sin \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \end{aligned} \quad (4.24)$$

iar compensarea unghiurilor constînd în:

$$\begin{aligned} \beta'_1 + \gamma'_1 &= \beta + \gamma \mp W; \\ \beta_1 &= \beta'_1 \pm \frac{W}{2}; \quad \gamma_2 = \gamma'_2 \pm \frac{W}{2} \end{aligned} \quad (4.25)$$

Cu ajutorul acestora și a unghiurilor măsurate se calculează orientarea dintre fire, prin însumarea în mod corespunzător la orientarea cunoscută θ_{AB} .

Exemplu pentru patrulaterul bilateral :

$$\theta_{12} = \theta_{AB} + \alpha + \alpha_1 + 200^\circ \quad (4.26)$$

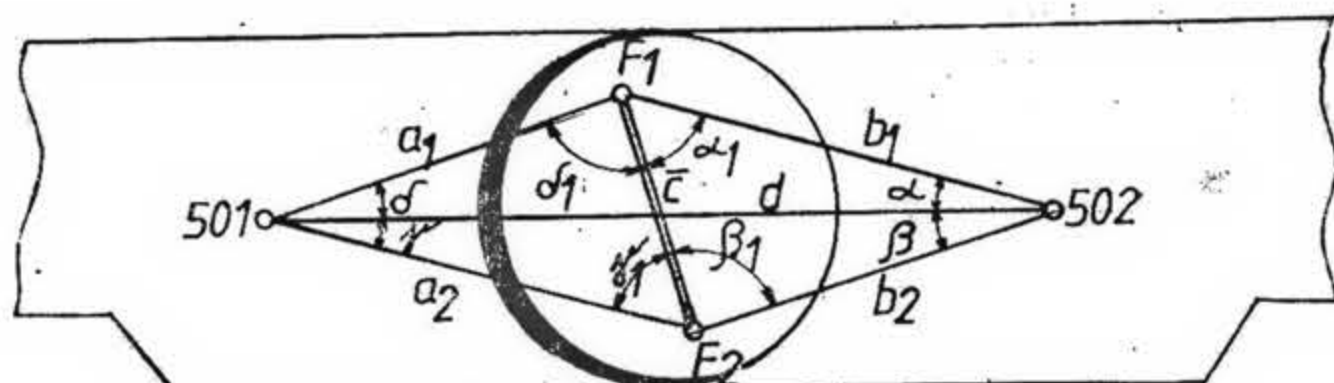


Fig. XV.38. Patrulater bilateral subteran.

sau pentru patrulaterul unilateral :

$$\theta_{12} = \theta_{AB} + \beta + \alpha + \alpha_1 + 200^\circ \quad (4.27)$$

În cazul legăturii în subteran se întâlnesc ambele cazuri de patrulater, atât bilateral (fig. XV.38) cât și unilateral (fig. XV.39).

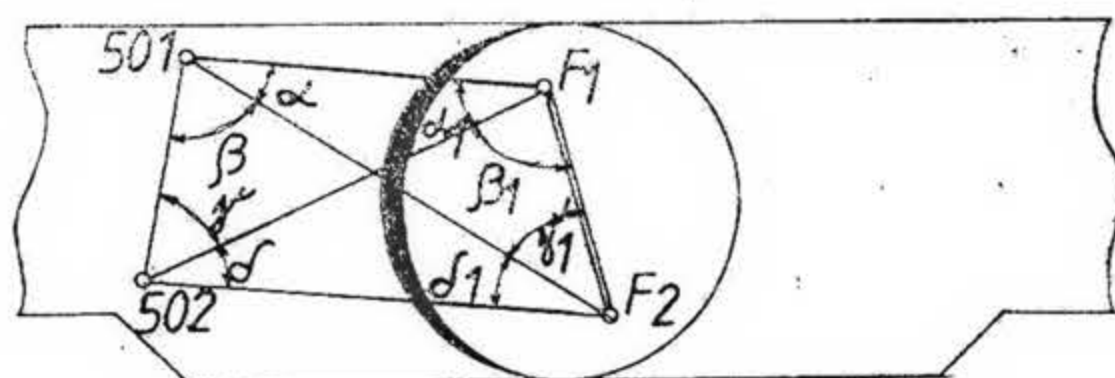


Fig. XV.39. Patrulater unilateral subteran.

Ordinea operațiilor se schimbă, deoarece se va rezolva mai întâi patrulaterul, rezultând orientările, după care se calculează coordonatele punctelor din coordonatele firelor lestate.

Relațiile de calcul fiind asemănătoare, vor fi adaptate situației

4.1.2. PROIECTAREA COORDONATELOR ȘI ORIENTĂRII PRIN LUCRĂRI MINIERE VERTICALE

Pentru a transmite sistemul de referință de la suprafață în subteranul minelor, este suficient să se transmită coordonatele unui punct topografic minier și orientarea unei laturi sprijinite pe acest punct. În raport cu condițiile și aparatura existentă pentru proiectarea de coordonate și orientări, sînt utilizate două metode și anume : *metoda mecanică* și *metoda optică*, iar pentru identificarea orientării în subteran sînt folosite : *metoda giroscopică* și *metoda magnetică*, utilizate de regulă în combinație cu metoda mecanică de proiectare de coordonate.

4.1.2.1. Metoda mecanică de proiectare a coordonatelor

În secțiunea liberă a unui puț vertical de mină — degrevat temporar de transport și aeraj (fig. XV.40) — se lansează un fir metalic 1 ce se găsește depozitat pe un tambur cu trolu 2 ghidat de un scripete 3 și un reper sub formă de coadă de rîndunică 4 — ambele așezate în turnul puțului. Firul este lestat cu o greutate constituită dintr-un taler 5 și greutăți calibrate 6, ansamblul cufundat într-un recipient avînd apă, rumeguș și ulei.

Firul metalic este de oicei din sîrmă feroasă sau alamă oțeloasă, rezistent la tracțiune și îndoire.

Așa cum s-a arătat, poziția planimetrică a firului este bine determinată la suprafață prin metoda radierii simple.

Datorită lungimii mari a firului (înălțimea puțului) firul va executa o serie de oscilații.

Poziția de echilibru va fi identificată prin efectuarea de observații pe riglele unui dispozitiv 7. Cele două rigle se găsesc aproximativ perpendiculare și sînt situate pe o coroană. O riglă este așezată perpendicular pe linia de viză a teodolitului plasat în punctul 501 (fig. XV.41), iar cealaltă riglă va fi observată în oglindă, tot cu ajutorul teodolitului. Firul se lasă să oscileze liber, observînd pe fiecare riglă cîte trei elongații maxime consecutive (M_1, M_2, M_3 și N_1, N_2, N_3). Poziția medie pe fiecare riglă va fi determinată expeditiv :

$$\text{— pe rigla } M : M_0 = \frac{M_1 + 2M_2 + M_3}{4} \quad (4.26)$$

$$\text{— pe riglă } N : N_0 = \frac{N_1 + 2N_2 + N_3}{4} \quad (4.27)$$

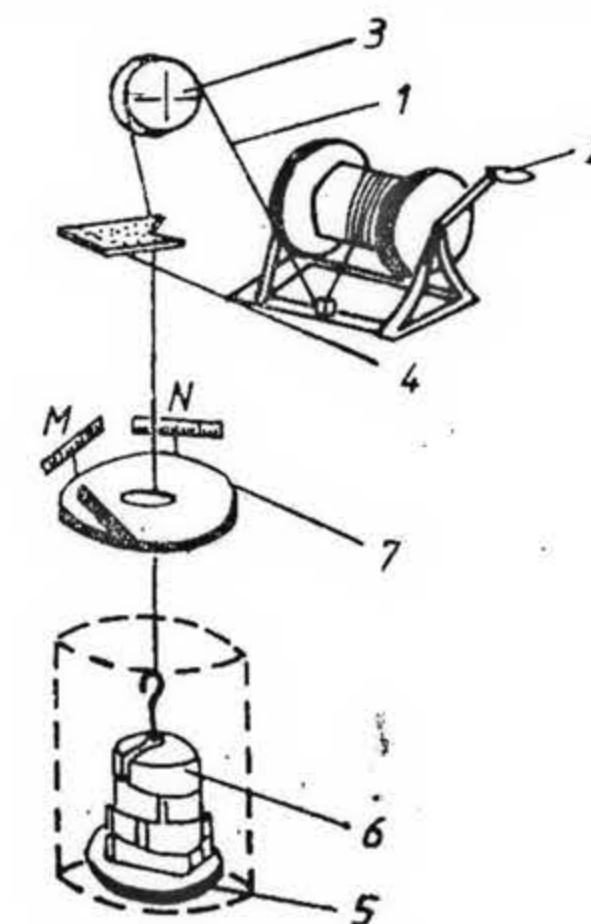


Fig. XV.40. Instalația mecanică de proiectare a coordonatelor pe puț vertical de mină.

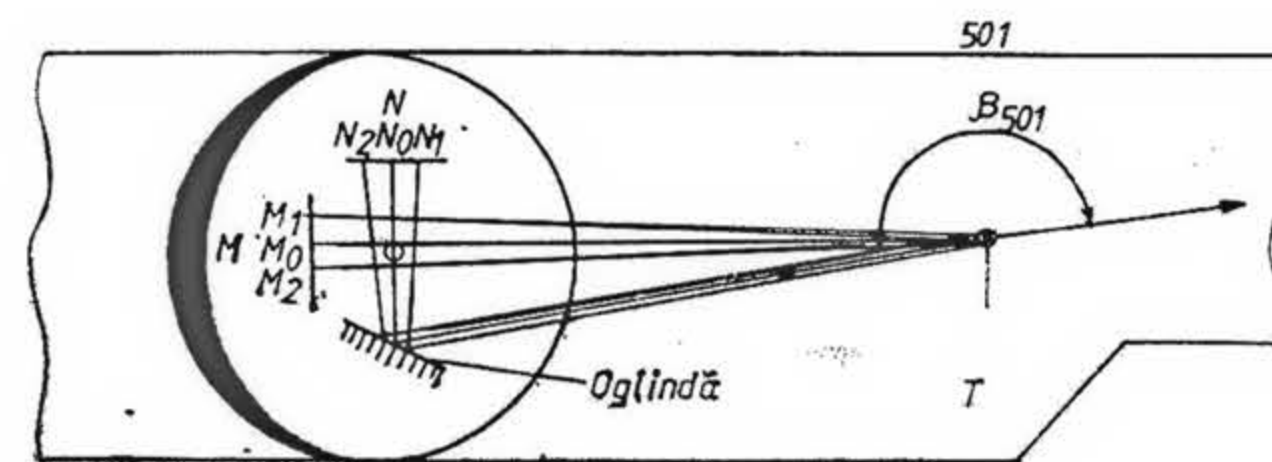


Fig. XV.41. Stabilirea poziției de echilibru a firului lestat.

Cu ajutorul unei prisme de centrare, firul va fi poziționat corespunzător citirilor M_0 și N_0 , poziție față de care vor fi efectuate măsurătorile de legătură cu punctele topografice subterane.

Pentru transmiterea unei orientări pe un singur puț de mină, operațiile descrise anterior vor fi aplicate pentru două fire (F_1 și F_2), legătura topografică efectuându-se după (§ 4.1.1.2), (§ 4.1.1.3) și (§ 4.1.3.3).

O metodă ce permite transmiterea simultană de coordonate și orientări, simplificând totodată modalitatea de legătură între rețeaua topografică de la suprafață cu operațiile de proiectare și legătura cu rețeaua topografică subterană este *metoda alinierii forțate*.

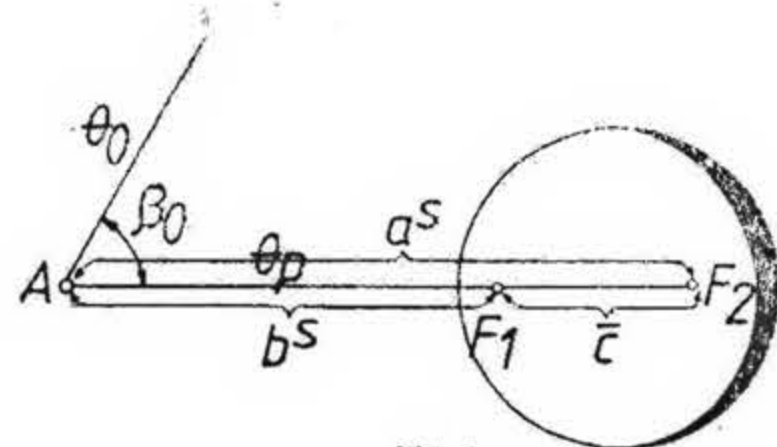


Fig. XV.42. Joncțiunea la suprafață prin aliniere forțată.

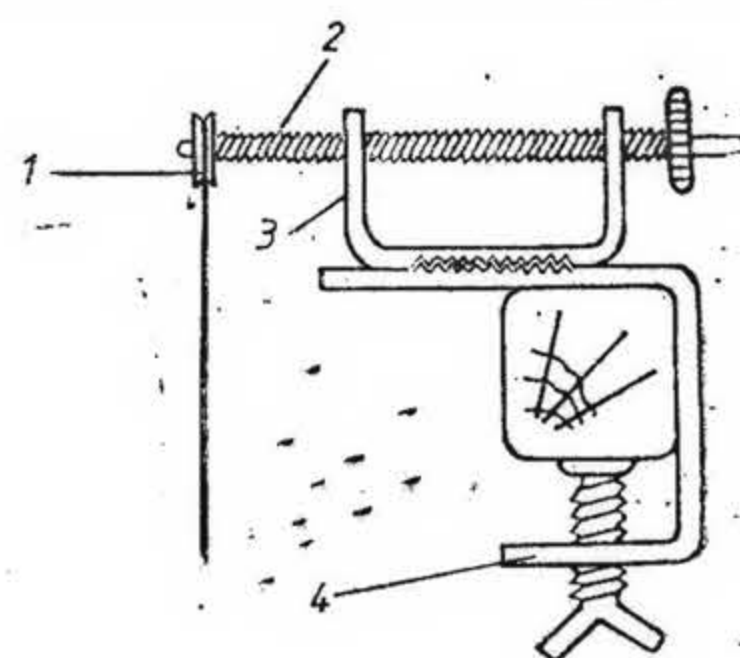


Fig. XV.43. Scripete glisant :
1 - scripete; 2 - șurub fără file; 3 - cameră ghidaj; 4 - sistem de prindere.

La suprafață, aproximativ pe direcția de transport a puțului, se încadrează un punct $A(x_A, y_A)$ cât mai îndepărtat de puț și cu posibilitatea de vizare a unei laturi de orientare θ_p cunoscute (fig. XV.42). Din acest punct trebuie să se poată viza două fire plasate coliniar cu punctul, în turnul puțului.

Firele lestate în puț vor fi ghidate cu câte un scripete glisant (fig. XV.43) prin deplasare laterală față de direcția θ_p .

Scripetele glisant va fi manevrat de un figurant situat în turnul puțului și va fi ghidat de operatorul din punctul A ; pentru început va fi poziționat firul depărtat F_1 , iar apoi firul apropiat F_2 . După terminarea acestei operații se vor măsura distanțele a , b și \bar{c} cu care se va face o primă verificare:

$$a^s = b^s + \bar{c} \quad (4.28)$$

Se vor calcula coordonatele firului F_1 :

$$F_1 \begin{cases} x_1 = x_A + a^s \cos \theta_p \\ y_1 = y_A + a^s \sin \theta_p \end{cases} \quad (4.29)$$

eventual:

$$F_2 \begin{cases} x_2 = x_A + b^s \cos \theta_p \\ y_2 = y_A + b^s \sin \theta_p \end{cases} \quad (4.30)$$

Orientarea direcției (identică cu orientarea dintre fire) și coordonatele firului sînt elemente ce vor rămîne aceleași și pentru subteran (fig. XV.44).

În subteran va fi plasat, la o distanță cât mai mare de firele lestate, un teodolit așezat pe un trepied sau pe un dispozitiv de deplasare laterală a teodolitului. Se va deter-

mina, așa cum s-a arătat, poziția de echilibru a firelor, după care teodolitul va fi poziționat pe direcția θ_p , deci coliniar cu cele două fire F_2 și F_1 lestate în secțiunea puțului. Acest lucru poate fi realizat prin măsurarea deplasării dintre vizarea firelor (fig. XV.45) tangente pe dreapta primului fir F_1 și tangente pe stînga a aceluiași fir, poziția medie reprezentînd situarea coliniară a teodolitului cu cele două fire, deci plasarea sa pe direcția θ_p .

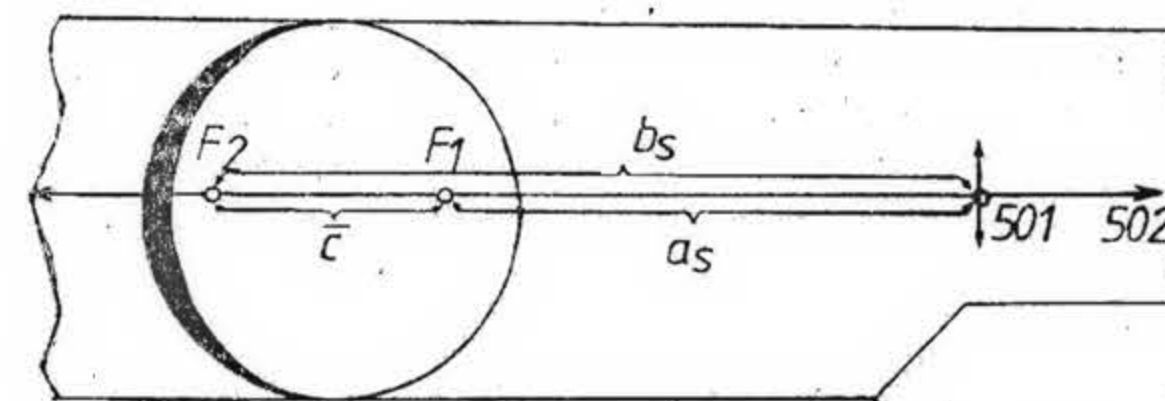


Fig. XV.44. Joncțiunea în subteran prin aliniere forțată.

Se măsoară distanțele a_s , b_s și \bar{c} și se fac două verificări ale distanței dintre fire \bar{c} în subteran, astfel ca aceasta să fie identică cu distanța \bar{c} de la suprafață și

$$b_s = a_s + \bar{c} \quad (4.31)$$

Orientarea θ_p va fi materializată în subteran prin plasarea a încă unui punct (\odot 502) îndepărtat în fața sau în spatele teodolitului.

Coordonatele punctului \odot 502 vor fi calculate din:

$$\begin{cases} x_{501} = x_1 + a_s \cos \theta_p = x_2 + b_s \cos \theta_p \\ y_{501} = y_1 + a_s \sin \theta_p = y_2 + b_s \sin \theta_p \end{cases} \quad (4.32)$$

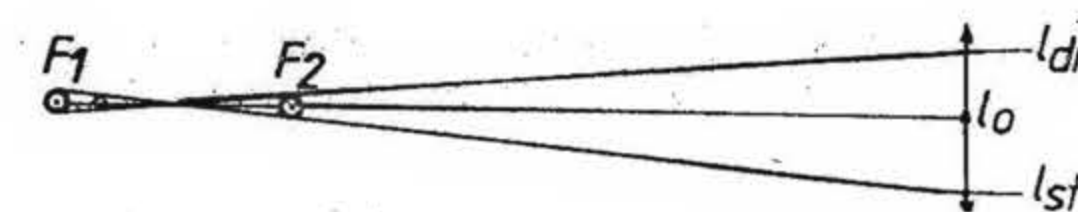


Fig. XV.45. Poziționarea teodolitului în aliniere forțată.

Această metodă, în aparență expeditivă, oferă o precizie destul de bună, cu condiția executării corecte a operațiilor.

4.1.2.2. Metoda giroscopică de determinare a orientării

Aparatul utilizat este *giroteodolitul* compus dintr-un giroscop — adaptat pentru lucrări topografice — atașat ghidat pe direcția de viză a unui teodolit de mare precizie. Giroscopul prezintă proprietatea că la o turație mai mare de 24 mii rot/min, asupra sa mai acționează doar forța de rotație a Pământului, fapt ce-i direcționează axa de rotație după meridianul locului. În aceste condiții întreg ansamblul giroscop-teodolit va indica pentru direcția vizată orientarea geografică θ_G . Cum însă în topografie interesează orien-

tarea geodezică a direcțiilor topografice de lucru, va fi necesar să fie determinată, pentru bazinul minier respectiv, convergența de meridian γ ca diferență între orientarea geografică θ_G și orientarea geodezică θ respectiv :

$$\gamma_G = \theta_G - \theta \quad (4.33)$$

În acest caz pot fi utilizate cu bune rezultate două procedee.

Procedeu practică. Se alege un punct de triangulație $A(x_A, y_A)$ plasat aproximativ în centrul bazinului și cu posibilități de viză lungă către un alt punct de triangulație $B(x_B, y_B)$. În punctul A se staționează cu giroteodolitul, se calează și se fac observații de determinare a orientării geodezice θ_{GAB} a laturii — conform indicațiilor prescriptuale a giroteodolitului utilizat. Se calculează din coordonate orientarea geodezică θ_{AB} a laturii vizate cu giroteodolitul.

Convergența de meridian va rezulta conform relației cunoscute (4.33).

Procedeu analitic. Se calculează convergența de meridian din diferențele de coordonate geodezice dintre centrul sistemului de coordonate și un punct cunoscut din bazinul minier :

$$\gamma = (\lambda - \lambda_0) \sin \varphi$$

relație în care : λ este longitudinea punctului din centrul bazinului minier ; λ_0 — longitudinea originii sistemului de coordonate ; φ — latitudinea punctului din centrul bazinului minier.

Cunoscând convergența de meridian (γ) — caracteristică bazinului minier respectiv — în subteran se va proceda astfel (fig. XV.46) :

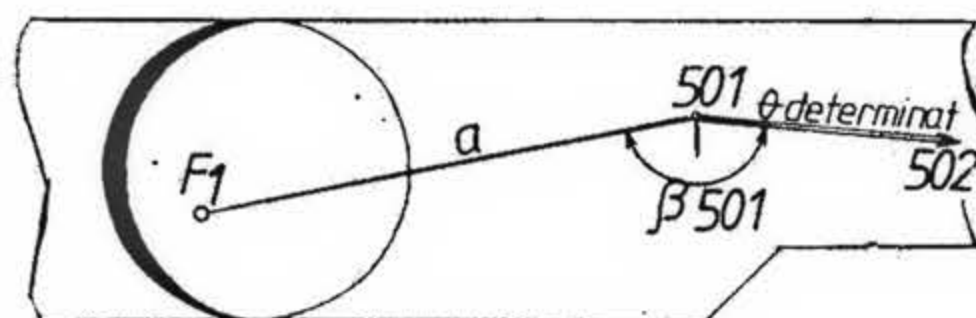


Fig. XV.46. Joncțiunea în subteran când se cunoaște o orientare determinată.

Se va face stație cu giroteodolitul într-un punct bine materializat $\odot 501$, vizându-se un punct $\odot 502$, determinându-se totodată orientarea geografică θ_G a laturii $\odot 501 \odot 502$.

Orientarea geodezică a laturii $\odot 501 \odot 502$ — conform relației — va fi :

$$\theta_{501, 502} = \theta_{G501, 502} - \gamma$$

Pe puțul vertical de mină au fost deja proiectate coordonatele firului $F_1(x_1, y_1)$, iar cu teodolitul la care este atașat giroscopul se măsoară unghiul β_{501} , unghi cu care se calculează împreună cu orientarea geodezică $\theta_{501, 502}$ orientarea $\theta_{1, 501} = \theta_{501, 502} + \beta_{501} + 200^\circ$, măsurând și distanța $a_{1, 501}$, coordonatele punctului $\odot 501$ rezultă :

$$\odot 501 \begin{cases} x_{501} = x_1 + a \cos \theta_{1, 501} \\ y_{501} = y_1 + a \sin \theta_{1, 501} \end{cases} \quad (4.34)$$

Se realizează astfel materializarea în subteran, transmiterea atât a coordonatelor cât și a orientării. Determinarea orientării se face cu o eroare de $\pm 30''$.

4.1.3. DRUMUIRI PLANIMETRICE SUBTERANE

Cunoscute și sub denumirea de *poligonații subterane*, acestea sînt asemănătoare în mare, cu lucrările de același gen executate la suprafață. Ridicarea topografică a drumurilor subterane se face cu teodolite — cu posibilități de centrare sub punct — avînd o eroare de citire de cel mult $\pm 20''$ pe limbul gradat orizontal. De regulă, pentru transmiterea orientării sînt utilizate teodolite cu o precizie de citire la cercul gradat orizontal de $\pm 2''$, bine centrate în stație cu o eroare mică de punctare, avînd în vedere că vizele sînt scurte. Unghiurile orizontale vor fi măsurate în ambele poziții ale teodolitului, diferența între cele două măsurători nedepășind cea mai mică diviziune de pe limbul gradat (p_a — precizia aparatului). Distanțele se măsoară direct în mină, cu rulete din oțel de cel puțin trei ori în ambele sensuri, diferența între măsurători să nu depășească ± 1 mm.

la 50 m = $\frac{1}{50\,000}$, luîndu-se media măsurătorilor.

Periodic va fi controlată poziția reciprocă a punctelor fixe (principale, tari) din subteran — puncte de sprijin pentru poligonațiile planimetrice — constatînd dacă reechilibrarea rocilor în urma creării gurilor subterane nu a afectat poziția planimetrică a acestor puncte.

4.1.3.1. Poligonația cu două capete

— Prin *capăt de sprijin al unei poligonații* se definește ansamblul constituit dintr-un punct de coordonate cunoscute și o orientare sprijinită pe aceasta, de asemenea cunoscută.

Drumuirea cu două capete (fig. XV.47) este sprijinită pe capătul inițial constituit din punctul $A(x_A, y_A)$ cunoscut și orientarea inițială cunoscută θ_0 , și capătul final de închidere constituit din punctul $F(x_F, y_F)$ cunoscut și orientarea de închidere sau finală θ_f .

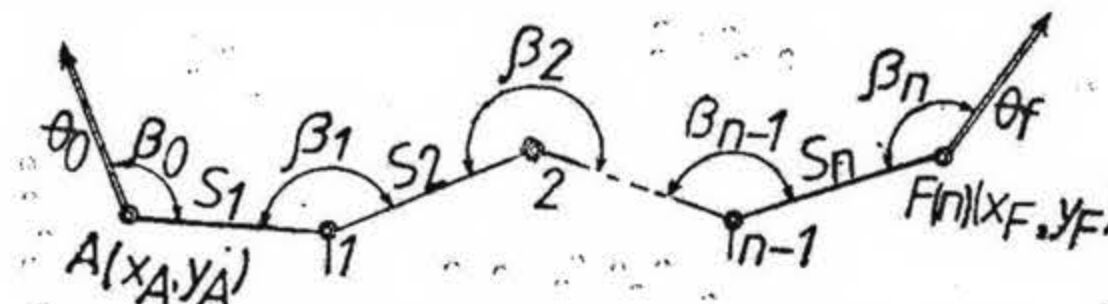


Fig. XV.47. Poligonația cu două capete.

Elementele măsurate sînt

- unghiurile $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_{n-1}, \beta_n$ în total $(n + 1)$ unghiuri ;
- distanțele orizontale $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{n-1}, s_n$; $[s]$ = lungimea desfășurată a poligonației.

Se calculează :

- orientările provizorii ;
- orientarea primei laturi notată către punctul vizat ;

$$\theta_{A1} = \theta'_1 = \theta_0 + \beta_0$$

$$\theta'_2 = \theta_0 + \beta_0 + \beta_1 + 200^g \quad (4.35)$$

$$\theta'_i = \theta_0 + [\beta]_0^{i-1} + (i-1) 200^g$$

$$\theta'_n = \theta_0 + [\beta]_0^{n-1} + (n-1) 200^g \quad (4.36)$$

— orientarea către punctul final F :

$$\theta'_f = \theta_0 + [\beta]_0^n + n \cdot 200^g \quad (4.37)$$

Datorită erorilor în măsurarea unghiurilor, va exista o neînchidere între orientarea finală cunoscută θ_f și orientarea finală (provizorie) calculată:

$$W_\theta = \theta_f - \theta'_f \quad (4.38)$$

Dacă neînchiderea pe orientări W_θ se încadrează în toleranța pe unghiuri dată de relația:

$$T_\beta = \pm 20^g \sqrt{n+1} \quad \text{Dacă } W_\theta \leq T_\beta \quad (4.39)$$

atunci se poate proceda la compensarea pe orientări, proporțional cu numărul unghiurilor măsurate. Corecția pe unghi măsurat va fi dată de:

$$C_\theta^0 = \frac{W_\theta}{n+1} \quad (4.40)$$

cu ajutorul căreia pot fi compensate orientările:

$$\theta_1 = \theta'_1 + C_\theta^0 \quad (4.41)$$

$$\theta_2 = \theta'_2 + 2C_\theta^0$$

$$\theta_i = \theta'_i + i C_\theta^0 \quad (4.42)$$

$$\theta_n = \theta'_n + n C_\theta^0$$

$$\theta_f = \theta'_f + (n+1) C_\theta^0 \quad (4.43)$$

relație ce verifică (4.38), (4.40).

Cu orientările compensate pot fi calculate coordonatele provizorii ale punctelor curente ale drumului:

$$\begin{cases} x'_1 = x_A + s_1 \cos \theta_1 \\ y'_1 = y_A + s_1 \sin \theta_1 \\ x'_2 = x_A + s_1 \cos \theta_1 + s_2 \cos \theta_2 \\ y'_2 = y_A + s_1 \sin \theta_1 + s_2 \sin \theta_2 \end{cases} \quad (4.44)$$

$$\begin{cases} x'_i = x_A + [s \cos \theta]^i \\ y'_i = y_A + [s \sin \theta]^i \end{cases}$$

$$\begin{cases} x'_F = x'_n = x_A + [s \cos \theta] \\ y'_F = y'_n = y_A + [s \sin \theta] \end{cases}$$

Datorită erorilor de măsurare a distanțelor vor exista neînchideri pe coordonate în punctul final:

$$W_x = x_F - x'_F; \quad W_y = y_F - y'_F \quad (4.45)$$

iar neînchiderea totală pe punct va fi:

$$W_{x,y} = \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4.46)$$

care dacă va fi sub toleranță

$$T_{x,y} = \pm \left(0,003 \sqrt{[s]} + \frac{[s]}{2600} \right) \geq W_{x,y} \quad (4.47)$$

va putea fi efectuată compensarea pe coordonate, proporțional cu lungimea parcursă pînă în punctul respectiv; astfel, corecțiile unitare vor fi date de:

$$C_x^0 = \frac{W_x}{[s]} \quad (4.48) \quad C_y^0 = \frac{W_y}{[s]} \quad (4.49)$$

iar coordonatele compensate vor fi:

$$\begin{cases} x_1 = x'_1 + s_1 C_x^0 \\ y_1 = y'_1 + s_1 C_y^0 \\ x_2 = x'_2 + (s_1 + s_2) C_x^0 \\ y_2 = y'_2 + (s_1 + s_2) C_y^0 \end{cases} \quad (4.50)$$

$$\begin{cases} x_i = x'_i + [s]^i C_x^0 \\ y_i = y'_i + [s]^i C_y^0 \\ x_F = x'_n + [s] C_x^0 \\ y_F = y'_n + [s] C_y^0 \end{cases} \quad (4.51)$$

relații ce verifică (4.45) și (4.48).

Într-o astfel de poligonație poate fi ușor efectuat un studiu al erorilor de determinare a orientărilor și coordonatelor cu ajutorul următoarelor relații:

$$M_{\theta_i} = \pm \frac{W_{\theta}}{n} \sqrt{i(n-i)} \quad (4.52)$$

$$M_{x_i} = \pm \frac{W_x}{[S]} \sqrt{[S]^i ([S] - [S]^i)}$$

$$M_{y_i} = \pm \frac{W_y}{[S]} \sqrt{[S]^i ([S] - [S]^i)} \quad (4.53)$$

4.1.3.2. Poligonația cu un cap de sprijin și un punct de închidere

Are ca element inițial un cap de sprijin format dintr-un punct $A(x_A, y_A)$ și o orientare inițială θ_0 , și un punct de închidere $F(x_F, y_F)$ (fig. XV.48).

Vor fi măsurate următoarele elemente:

— unghiuri orizontale: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_{n-1} = n$ unghiuri;
— distanțe orizontale $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{n-1}, s_n, = [s]$ lungimea orizontală desfășurată a traseului.

Calculul va consta din stabilirea orientărilor provizorii cu relațiile (4.35) și (4.36), orientări ce nu pot fi compensate, neexistând o orientare de închidere (o astfel de compensare poate fi efectuată dacă în prealabil s-a făcut măsurarea poligonației de la F la A cu închidere pe orientarea inițială θ_0).

Cu orientările provizorii vor fi calculate coordonatele provizorii cu relațiile (4.44), neînchiderile pe coordonate (4.45), (4.46) comparate cu toleranța pe coordonate (4.47) și efectuată compensarea pe coordonate cu (4.48) și (4.49).

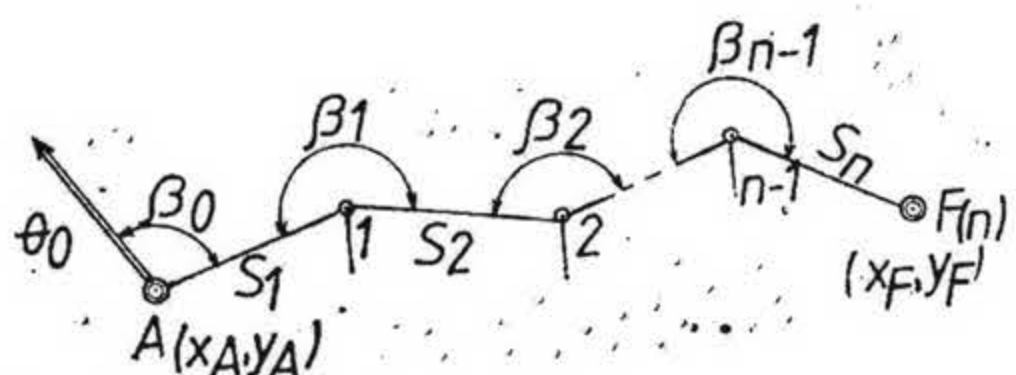


Fig. XV.48. Drumuirea cu un capăt sprijinit și un punct de închidere.

Studiul abaterilor punctuale ale punctelor poligonale va fi efectuat cu relațiile (4.51) și (4.53).

4.1.3.3. Poligonația minieră

Cunoscută sub denumirea de poligonație minieră, *drumuirea minieră* este utilizată pentru constituirea unui traseu principal de sprijin la nivelul unui orizont, atunci când transmiterea de coordonate se face de la suprafață cu câte un fir pe două puturi verticale.

Elementele cunoscute sînt punctul $A(x_A, y_A)$ și punctul de capăt $F(x_F, y_F)$.

Elementele măsurate:

— unghiurile $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_{n-1} = (n-1)$ unghiuri;

— distanțe orizontale $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{n-1}, \dots, s_n, [s]$ lungimea orizontală desfășurată a poligonației.

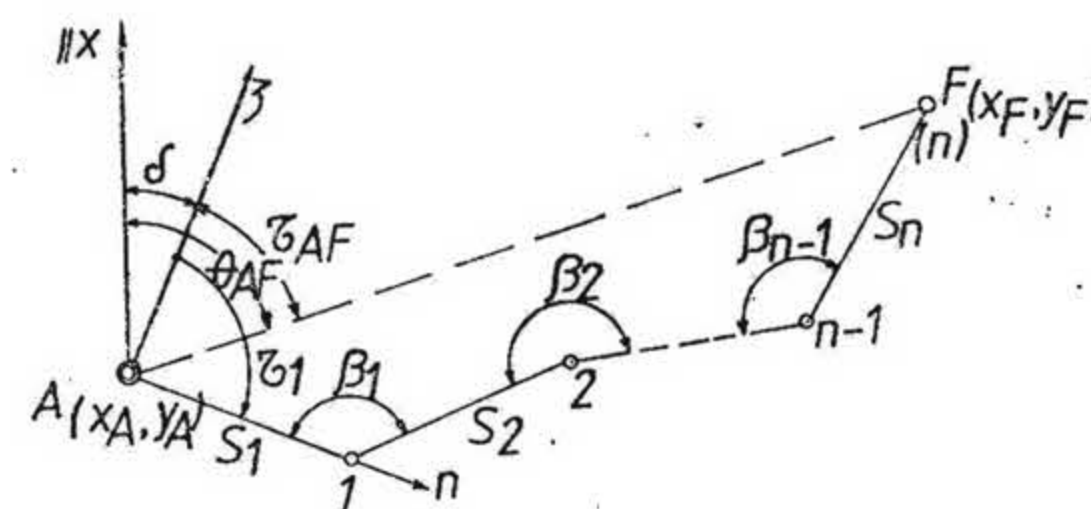


Fig. XV.49. Drumuirea minieră.

Necesitînd o orientare inițială de sprijin în sistemul general (x, y) , se face apel la un artificiu, alegîndu-se un sistem rectangular particular (ξ, η) plasat cu originea în primul punct al poligonației cu o axă pe prima latură a poligonației, astfel încît poligonația să se situeze pe cît posibil în primul cadran al sistemului particular. Conform figurii XV.49 se poate ușor observa că

$$\xi_A = 0; \eta_A = 0; \tau_1 = 100^\circ, \text{ (sau } \tau_1 = 0^\circ)$$

Calculul orientărilor în sistemul particular

$$\begin{aligned} \tau_1 &= 100^\circ \\ \tau_2 &= \tau_1 + \beta_1 + 200^\circ \\ \tau_i &= \tau_1 + [\beta]^{i-1} + (i-1) 200^\circ \\ \tau_n &= \tau_1 + [\beta]^{n-1} + (n-1) 200^\circ \end{aligned} \quad (4.54)$$

cu aceste orientări particulare pot fi calculate coordonatele în sistemul particular:

$$\begin{aligned} \begin{cases} \xi_1 = \xi_A + s_1 \cos \tau_1 \\ \eta_1 = \eta_A + s_1 \sin \tau_1 \end{cases} \\ \begin{cases} \xi_2 = \xi_A + s_1 \cos \tau_1 + s_2 \cos \tau_2 \\ \eta_2 = \eta_A + s_1 \sin \tau_1 + s_2 \sin \tau_2 \end{cases} \\ \begin{cases} \xi_i = \xi_A + [s \cos \tau]^i \\ \eta_i = \eta_A + [s \sin \tau]^i \end{cases} \\ \begin{cases} \xi_F = \xi_A + [s \cos \tau] \\ \eta_F = \eta_A + [s \sin \tau] \end{cases} \end{aligned} \quad (4.55)$$

Se observă că sînt cunoscute perechile de coordonate, atît în sistemul general x, y , cît și în sistemul particular (ξ, η) , ceea ce permite calculul unghiului de rotire dintre cele două sisteme. Astfel unind imaginar A cu F , se pot calcula orientările:

$$\operatorname{tg} \theta_{AF} = \frac{y_F - y_A}{x_F - x_A} \Rightarrow \theta_{AF} \quad (4.56)$$

$$\operatorname{tg} \tau_{AF} = \frac{\eta_F - \eta_A}{\xi_F - \xi_A} \Rightarrow \tau_{AF} \quad (4.57)$$

unghiul de rotire

$$\delta = \theta_{AF} - \tau_{AF} \quad (\text{sau } \delta = \tau_{AF} - \theta_{AF}) \quad (4.58)$$

de unde:

$$\theta_i = \tau_i + \delta \quad (\text{respectiv } \theta_i = \tau_i - \delta) \quad (4.59)$$

Ca atare, orientările în sistemul general ale laturilor poligonale vor fi:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \tau_1 + \delta & (\theta_1 &= \tau_1 - \delta) \\ \theta_2 &= \tau_2 + \delta & (\theta_2 &= \tau_2 - \delta) \\ \dots & \dots & \dots \\ \theta_i &= \tau_i + \delta & \text{sau } (\theta_i &= \tau_i - \delta) \\ \dots & \dots & \dots \\ \theta_F &= \tau_F + \delta & (\theta_F &= \tau_F - \delta) \end{aligned} \quad (4.60)$$

cu care pot fi calculate coordonatele provizorii în sistem general utilizînd relațiile (4.44), apoi neînchiderile pe coordonate în punctul F cu relațiile (4.45), (4.46), care vor fi comparate cu toleranța pe coordonate (4.47) și efectuată compensarea pe coordonate cu (4.48) și (4.49).

Un alt procedeu de calcul a coordonatelor în sistem general după găsirea unghiului de rotire (4.58), (4.59), este *procedeu transcalculului de coordonate* utilizînd relațiile corespunzătoare; astfel pentru (4.68)

$$\begin{cases} x_i = x_A + \xi_i \cos \delta + \eta_i \sin \delta \\ y_i = y_A + \xi_i \sin \delta + \eta_i \cos \delta \end{cases} \quad (4.61)$$

iar pentru (5.69)

$$\begin{cases} x_i = x_A + \xi_i \cos \delta - \eta_i \sin \delta \\ y_i = y_A + \xi_i \sin \delta + \eta_i \cos \delta \end{cases} \quad (4.62)$$

Calcul care nu prezintă controlul unitar asupra punctelor poligonale și nici compensarea coordonatelor.

Studiul abaterilor punctuale ale punctelor poligonale va fi efectuat cu relațiile corespunzătoare (4.51) și (4.53).

4.1.3.4. Poligonația flotantă

Cunoscută și sub denumirea de *poligonație suspendată*, poligonația flotantă (fig. XV.50) are un singur capăt de sprijin format dintr-un punct $A (x_A, y_A)$ de coordonate cunoscute și o orientare sprijinită pe aceasta θ_0 , de asemenea cunoscută.

Acest tip de poligonație este des utilizat în subteran, mai ales în cazul lucrărilor de străpungere.

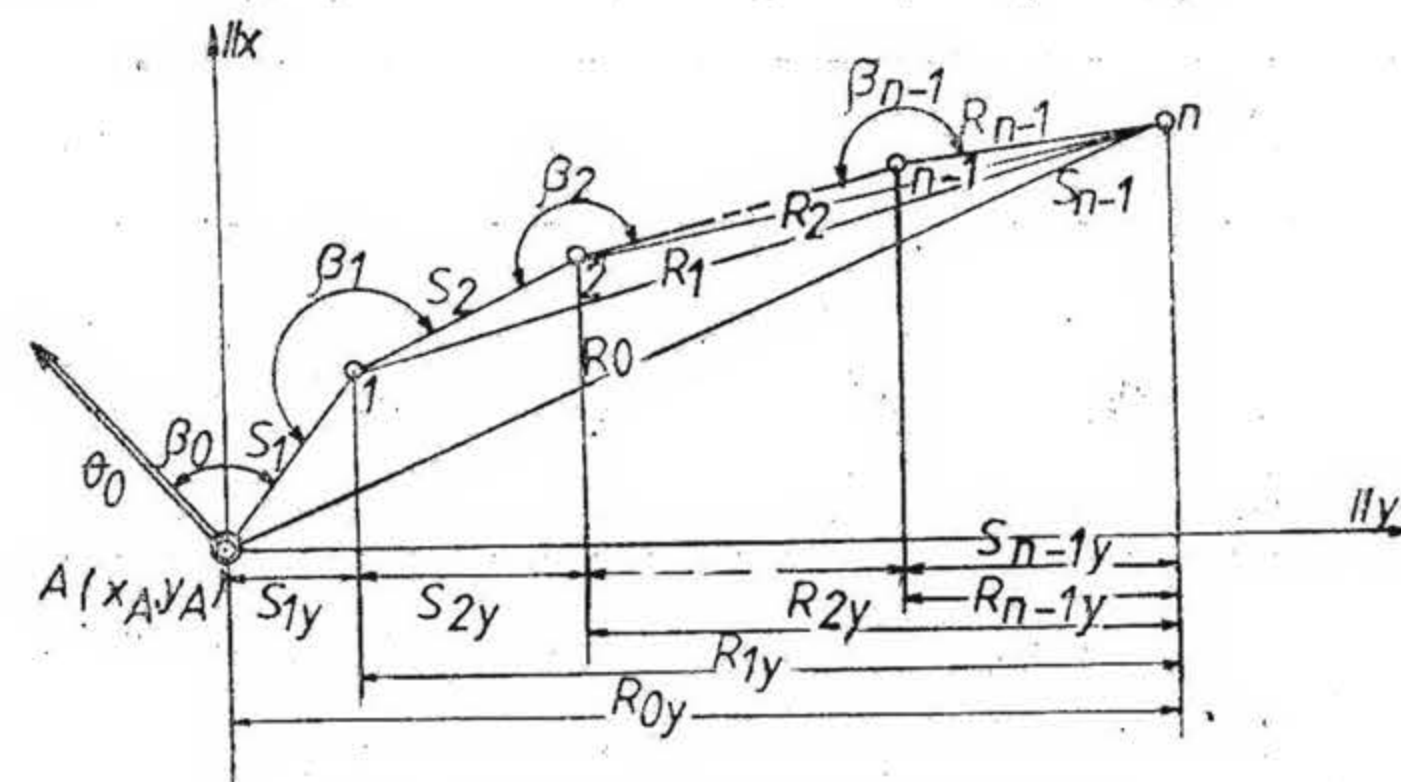


Fig. XV.50. Poligonația flotantă.

Elementele cunoscute sînt:

— punctul $A (x_A, y_A)$ și orientarea inițială de sprijin θ_0 .

Elementele măsurate:

— unghiurile $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_{n-1}$, în total n unghiuri;

— distanțele $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n$, lungimea orizontală desfășurată a traseului $[s]$.

Elementele calculate sînt:

— orientările provizorii prin intermediul relațiilor (4.35) și (4.36) cu ajutorul cărora vor fi calculate coordonatele provizorii ale poligonației flotante, prin intermediul relațiilor (4.44).

Necesitînd un control asupra punctului suspendat n , din drumuirea flotantă se efectuează fie remăsurarea și calculul poligonației înapoi către punctul inițial de sprijin pe același traseu, fie pe aceleași puncte, fie pe alte puncte, transformînd astfel poligonația într-o *poligonație cu două capete* (poligonație în circuit închis), punctul final fiind corectat cu jumătate din neînchiderea provenită prin parcurgerea dublă a traseului.

Studiul erorilor pe orientări și pe coordonate în poligonația flotantă se face prin metoda grafoanalitică. În acest sens se raportează poligonația flotantă pe un plan la o scară cît mai mare ($1/200 - 1/100$), adăugîndu-se eventual și străpungerea ce va fi efectuată. Se împart porțiunile rectilinii în segmente mai mici de 50 m (ruleta pentru măsurarea distanțelor are lungimea maximă de 50 m) indicînd noile puncte poligonale, iar curbele de racordare vor fi descompuse după planul de trasare în coarcele corespunzătoare de trasare prin punctele intermediare de conducere în curbă a lucrării în săpare. Din punctul final n al poligonației flotante vor fi trasate, către toate punctele poligonale, raze vectoriale care vor fi proiectate pe axele de coordonate. Vor fi, în

continuare, măsurate și trecute în tabelul următor proiecțiile distanțelor dintre puncte și ale razelor vectoare pe ambele axe de coordonate (tabelul XV.3).

La tabel vor fi efectuate ridicările la pătrat și însumările corespunzătoare, cu ajutorul cărora vor fi calculate următoarele erori:

Tabelul XV.3

Proiecțiile distanțelor și ale razelor vectoare

	S_x	S_x^2	R_x	R_x^2	S_y	S_y^2	R_y	R_y^2
A	—	—	R_{0x}	R_{0x}^2	—	—	R_{0y}	R_{0y}^2
1	S_{1x}	S_{1x}^2	R_{1x}	R_{1x}^2	S_{1y}	S_{1y}^2	R_{1y}	R_{1y}^2
2	S_{2x}	S_{2x}^2	R_{2x}	R_{2x}^2	S_{2y}	S_{2y}^2	R_{2y}	R_{2y}^2
...
n-1	S_{n-1x}	S_{n-1x}^2	R_{n-1x}	R_{n-1x}^2	S_{n-1y}	S_{n-1y}^2	R_{n-1y}	R_{n-1y}^2
n	S_{nx}	S_{nx}^2	—	—	S_{ny}	S_{ny}^2	—	—
[]	—	$[S_x^2]$	—	$[R_x^2]$	—	$[S_y^2]$	—	$[R_y^2]$

— eroarea datorită orientării inițiale:

● pe axa x-ilor

$$M_{\theta_{0x}} = \pm \frac{m_{\theta_0}}{\rho^{\text{cc}}} R_{0y} \quad (4.63)$$

relație în care m_{θ_0} este eroarea în determinarea orientării inițiale, eroare care este dată de relația:

$$m_{\theta_0} = \pm \frac{m_{x,y}}{D} \rho^{\text{cc}} \quad (4.64)$$

în care: $m_{x,y}$ este eroarea totală de încadrare a punctului vizat, care pentru minerit se ia ± 15 cm; D — lungimea vizei;

● pe axa y-ilor

$$M_{\theta_{0y}} = \pm \frac{m_{\theta_0}}{\rho^{\text{cc}}} R_{0x}, \quad (4.65)$$

iar eroarea totală pe orientări va fi:

$$M_{\theta_0} = \pm \sqrt{M_{\theta_{0x}}^2 + M_{\theta_{0y}}^2} \quad (4.66)$$

— eroarea datorită unghiurilor măsurate:

● pe axa x-ilor

$$M_{\beta_x} = \pm \frac{m_{\beta}}{\rho^{\text{cc}}} \sqrt{[R_y^2]} \quad (4.67)$$

în care: m_{β} este eroarea în măsurarea unui singur unghi; $m_{\beta} = \pm(2-5) p_a$ (factorul 2-5 se aplică astfel: 2 pentru aparate cu $p_a \pm 50^{\text{cc}}$ și 5 pentru aparate cu $p_a \pm 2^{\text{cc}}$);

● pe axa y-ilor

$$M_{\beta_y} = \pm \frac{m_{\beta}}{\rho^{\text{cc}}} \sqrt{[R_x^2]}, \quad (4.68)$$

iar abaterea totală datorită unghiurilor va fi:

$$M_{\beta} = \pm \sqrt{M_{\beta_x}^2 + M_{\beta_y}^2} \quad (4.69)$$

— eroarea datorită distanțelor măsurate va fi:

● pe axa x-ilor

$$M_{s_x} = \pm f \sqrt{[S_x^2]} \quad (4.70)$$

unde $f = \pm \frac{1}{3000-5000}$ eroarea în măsurarea distanțelor pentru subteran; (4.71)

● pe axa y-ilor

$$M_{s_y} = \pm f \sqrt{[S_y^2]}; \quad (4.72)$$

— eroarea totală datorită măsurătorii distanțelor va fi:

$$M_s = \pm \sqrt{M_{s_x}^2 + M_{s_y}^2} \quad (4.73)$$

Cunoscînd eroarea de încadrare a punctului inițial A, m_{Ax} , m_{Ay} , eroarea totală

● pe axa x-ilor va fi:

$$M_x = \pm \sqrt{m_{Ax}^2 + M_{\theta_{0x}}^2 + M_{\beta_x}^2 + M_{s_x}^2} \quad (4.74)$$

● pe axa y-ilor va fi:

$$M_y = \pm \sqrt{m_{Ay}^2 + M_{\theta_{0y}}^2 + M_{\beta_y}^2 + M_{s_y}^2} \quad (4.75)$$

iar eroarea totală va fi:

$$M_{x,y} = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (4.76)$$

În cazul străpungerilor front-contrafront, studiul abaterilor punctuale se face asupra ambelor poligonații flotante, rezultînd diferențiat erorile din ambele sensuri, care vor fi calculate separat pe axe în punctul de străpungere.

Cum însă la o străpungere interesează mai mult erorile longitudinale-transversale, poligonatelor i se atașează un sistem particular longitudinal-transversal (exemplu u, v), sistem în care se va face studiul asemănător sistemului general.

4.1.3.5. Rețea planimetrică nodală

Este constituită din mai multe trasee cu capete sprijinite, comune într-un punct de intersecție denumit *punct nodal*. În rețeaua planimetrică nodală (fig. XV.51) sînt cunoscute elementele topografice de sprijin constituite dintr-un punct de coordonate cunoscute și o orientare de sprijin.

$A(x_A, y_A), \theta_A; B(x_B, y_B), \theta_B$; și $C(x_C, y_C), \theta_C$

Elementele măsurate:

- unghiuri: traseul I $\beta_{10}, \beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{1i} = (i+1)$ unghiuri;
traseul II $\beta_{20}, \beta_{21}, \beta_{22}, \dots, \beta_{2j} = (j+1)$ unghiuri;
traseul III $\beta_{30}, \beta_{31}, \beta_{32}, \dots, \beta_{3k} = (k+1)$ unghiuri;
- distanțe: traseul I: $s_{10}, s_{12}, \dots, s_{1i}; [s]^i$ lungimea desfășurată a primului traseu;
traseul II: $s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2j}; [s]^j$ lungimea desfășurată a celui de al doilea traseu;
traseul III: $s_{31}, s_{32}, \dots, s_{3k}; [s]^k$ lungimea desfășurată a celui de al treilea traseu.

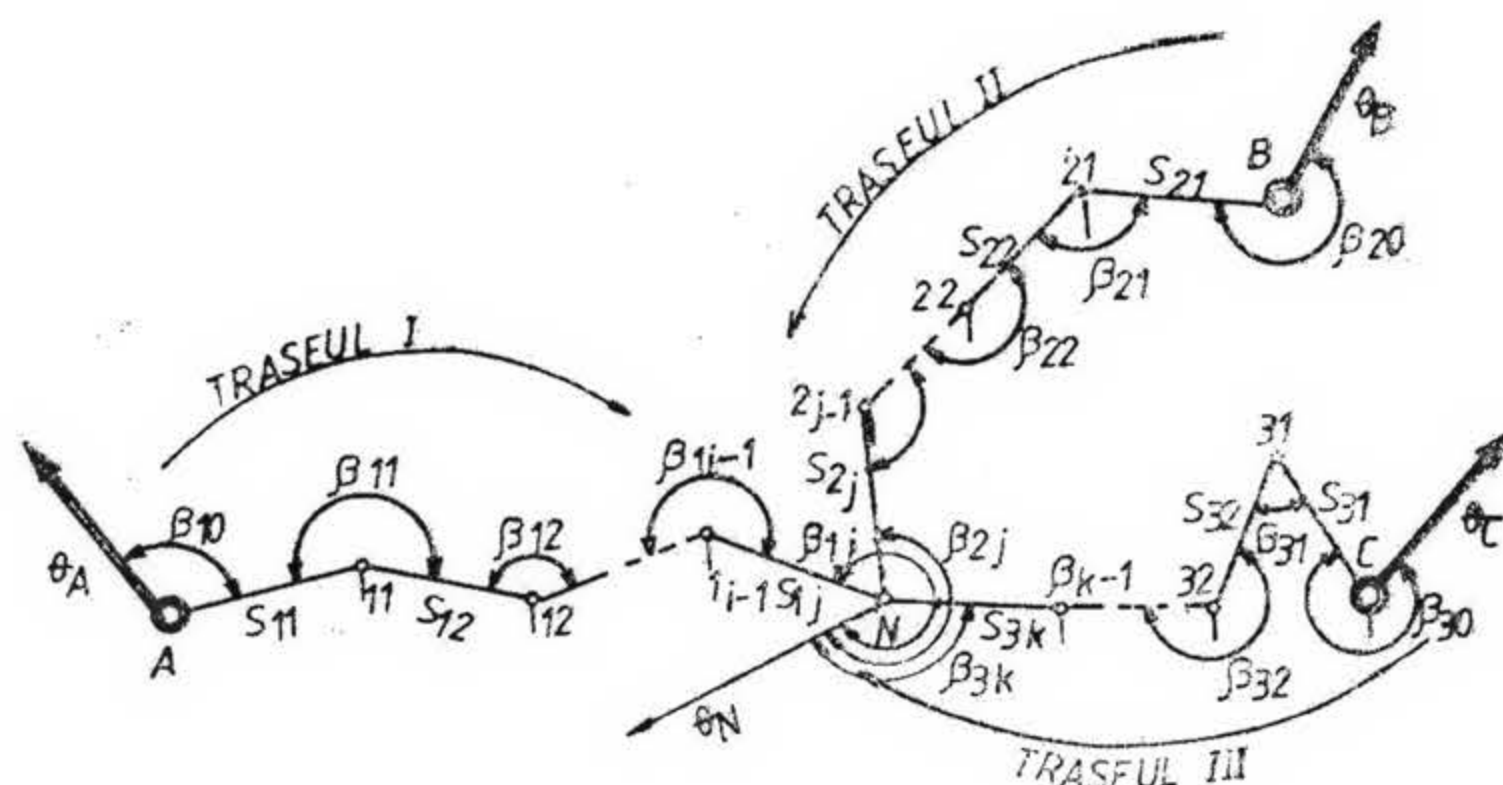


Fig. XV.51. Rețea planimetrică subterană.

Se calculează orientările provizorii pe fiecare traseu cu relațiile (4.2) și (4.3), rezultînd, pentru orientarea θ_N din punctul nodal, trei valori corespunzătoare traseului pe care au fost calculate:

$$\theta_N^I = \theta_A + [\beta_1]^i; \quad \theta_N^{II} = \theta_B + [\beta_2]^j; \quad \theta_N^{III} = \theta_C + [\beta_3]^k. \quad (4.77)$$

Cea mai probabilă valoare a orientării din punctul nodal va fi media ponderată a celor trei determinări, coeficienții de pondere vor fi corespunzători numărului de unghiuri ce au fost măsurate pe fiecare traseu în parte:

$$p_\beta^I = \frac{1}{i+1}; \quad p_\beta^{II} = \frac{1}{j+1}; \quad p_\beta^{III} = \frac{1}{k+1}. \quad (4.78)$$

atunci

$$\theta_N = \frac{p_\beta^I \theta_N^I + p_\beta^{II} \theta_N^{II} + p_\beta^{III} \theta_N^{III}}{p_\beta^I + p_\beta^{II} + p_\beta^{III}} \quad (4.79)$$

Se face compensarea pe fiecare traseu conform relațiilor (4.37)–(4.43), obținîndu-se orientările compensate pe întreaga rețea nodală, orientări cu care vor fi calculate coordonatele provizorii pentru fiecare traseu în parte cu relațiile (4.44), inclusiv coordonatele punctului nodal corespunzător pentru fiecare traseu poligonal în parte, rezultînd:

$$\begin{cases} x_N^I = x_A + [s_1 \cos \theta_1]^i \\ y_N^I = y_A + [s_1 \sin \theta_1]^i \\ x_N^{II} = x_B + [s_2 \cos \theta_2]^j \\ y_N^{II} = y_B + [s_2 \sin \theta_2]^j \\ x_N^{III} = x_C + [s_3 \cos \theta_3]^k \\ y_N^{III} = y_C + [s_3 \sin \theta_3]^k \end{cases} \quad (4.80)$$

Cele mai probabile valori ale coordonatei x (4.82) și ale coordonatei y (4.83) vor fi date de media aritmetică ponderată a celor trei valori corespunzătoare celor trei trasee, cu coeficienții de pondere rezultați din inversul lungimii fiecărui traseu.

$$p_{x,y} = \frac{1}{[s]^i} \quad p_{x,y} = \frac{1}{[s]^j} \quad p_{x,y} = \frac{1}{[s]^k} \quad (4.81)$$

$$x_N = \frac{p_{x,y}^I x_N^I + p_{x,y}^{II} x_N^{II} + p_{x,y}^{III} x_N^{III}}{p_{x,y}^I + p_{x,y}^{II} + p_{x,y}^{III}} \quad (4.82)$$

și, respectiv

$$y_N = \frac{p_{x,y}^I y_N^I + p_{x,y}^{II} y_N^{II} + p_{x,y}^{III} y_N^{III}}{p_{x,y}^I + p_{x,y}^{II} + p_{x,y}^{III}} \quad (4.83)$$

Între coordonatele punctului nodal astfel calculate și coordonatele provizorii va exista o diferență (conform 4.45 și 4.46) care dacă va îndeplini condiția de toleranță (4.47) va fi repartizată tuturor punctelor pe fiecare traseu în parte, conform cu (4.48) și (4.49).

Studiul abaterilor pe orientări și punctuale se va face cu ajutorul relațiilor (4.50)–(4.53).

4.1.3.6. Rețea planimetrică acolată

Această rețea planimetrică este des întâlnită în subteran la nivelul unui orizont de mină, fiind constituită dintr-un număr de ochiuri poligonale închise adiacente (fig. XV.52), având comun atât laturi (BD , Dd , de etc.) cât și puncte poligonale (d , e , k etc.) și nodale (A , B , C , D).

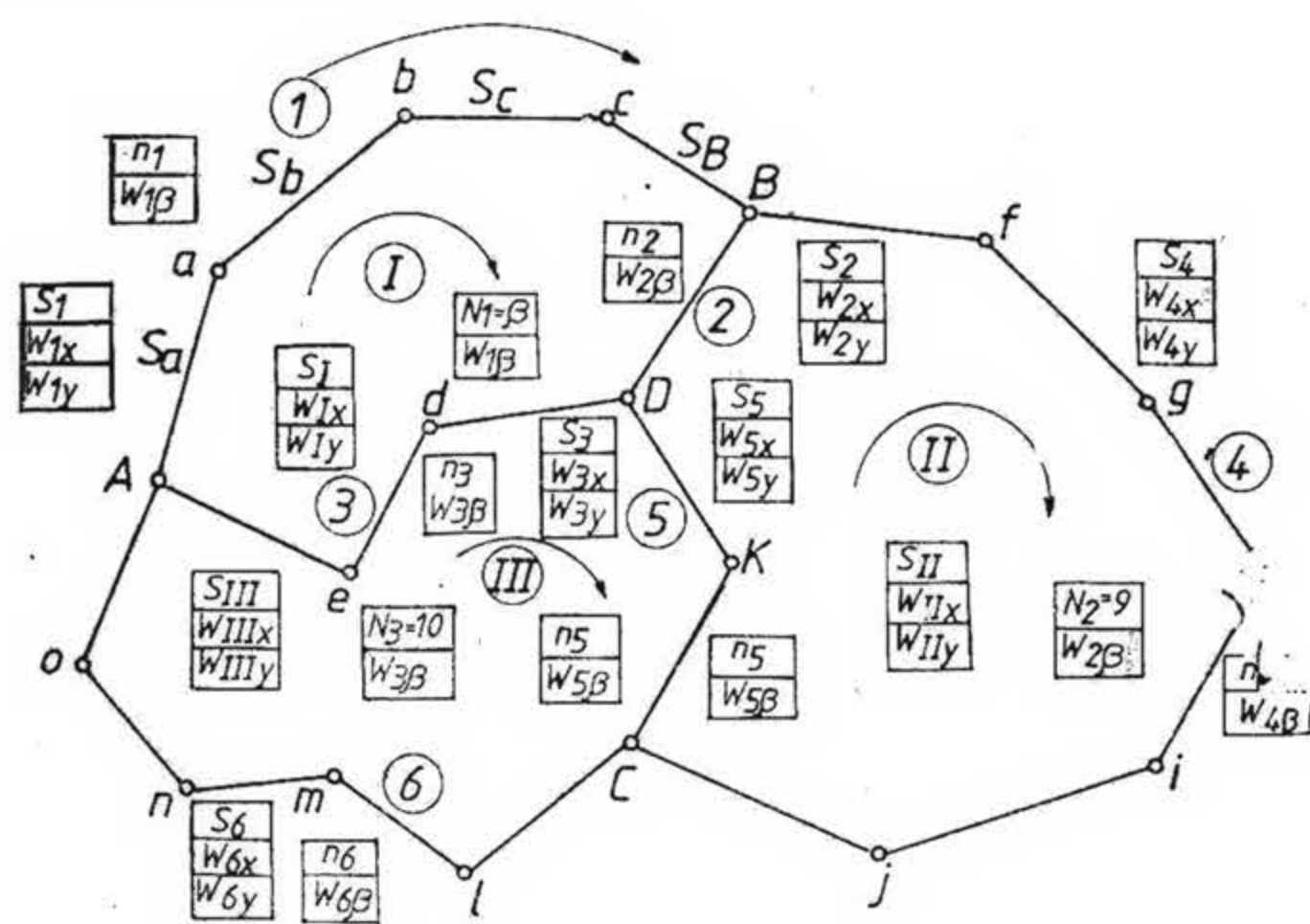


Fig. XV.52. Rețea planimetrică acolată.

Elementele măsurate sînt: direcții — din diferența cărora vor rezulta unghiuri și — distanțe orizontale, corespunzătoare fiecărei laturi poligonale.

Alegînd o orientare cunoscută sau arbitrară, vor fi calculate orientările provizorii, cu relațiile cunoscute (4.45), (4.46) în fiecare ochi în parte, după sensul general de parcurgere.

Suma orientărilor (direcții inverse sau duble) în fiecare ochi poligonal ar trebui să fie nulă, dar datorită erorilor de măsurare va exista corespunzător o neînchidere pe orientări.

$$\begin{aligned} W_{I\beta} &= [\theta']_I & W_{I\beta} &= (N_I - 2) \cdot 200'' - [\beta]_I \\ W_{II\beta} &= [\theta']_{II} & \text{sau: } W_{II\beta} &= (N_{II} - 2) \cdot 200'' - [\beta]_{II} \\ W_{III\beta} &= [\theta']_{III} & W_{III\beta} &= (N_{III} - 2) \cdot 200'' - [\beta]_{III} \end{aligned} \quad (4.83)$$

Rezultă un număr de ecuații de condiții corespunzătoare numărului de ochiuri. Acest sistem al ecuațiilor de condiții va fi redus la un sistem normal de ecuații Gauss), corelat specific măsurătorilor condiționate ponderate. Coeficienții de pondere vor fi funcție de numărul de unghiuri măsurate (numărul de laturi dublu orientate).

$N_1 = 4$ = numărul laturilor dublu orientate pe secțiunea AB ,

$N_2 = 1$; $N_3 = 3$; $N_I = n_1 + n_2 + n_3 = 8$ = numărul de laturi dublu orientate în ochiul poligonal I \equiv cu numărul total de unghiuri măsurate în primul ochi.

$$N_4 = 5; N_5 = 2; N_{II} = N_2 + N_4 + N_5 = 9$$

$$N_6 = 5; N_{III} = N_3 + N_5 + N_6 = 10 \quad (4.84)$$

Notînd cu $K_{I\beta}$, $K_{II\beta}$, $K_{III\beta}$ — corelatele corespunzătoare fiecărui ochi, sistemul normal se poate scrie după următoarea regulă: pe diagonala principală în mod corespunzător numărul total de orientări pe ochi cu semn pozitiv, ceilalți coeficienți vor fi negativi, corespunzător cu numărul de laturi dublu orientate.

Ochi	Corelata I	Corelata 2	Corelata 3
Ochiul I	$N_1 K_{I\beta}$	$-N_2 K_{II\beta}$	$-N_3 K_{III\beta} + W_{1\beta} = 0$
Ochiul II	$-N_2 K_{I\beta}$	$+N_{II} K_{II\beta}$	$-N_5 K_{III\beta} + W_{2\beta} = 0$
Ochiul III	$-N_3 K_{I\beta}$	$-N_5 K_{II\beta}$	$+N_{III} K_{III\beta} + W_{3\beta} = 0$

conform figuri sistemul scris pe diagonală va fi:

$$\begin{cases} 8K_{I\beta} - K_{II\beta} - 3K_{III\beta} + W_{1\beta} = 0 \\ 9K_{II\beta} - 2K_{III\beta} + W_{2\beta} = 0 \\ 10K_{III\beta} + W_{3\beta} = 0 \end{cases} \quad (4.85')$$

Se va rezolva sistemul (4.84) prin una din metodele cunoscute, rezultînd mărimile corelatele: $K_{I\beta}$, $K_{II\beta}$, $K_{III\beta}$.

Corecțiile pe direcții sau orientări sînt date de următoarele relații:

— pentru latură exterioră corecția este egală cu mărimea și de semnul corelatei ochiului de care aparține

$$(\text{exemplu pentru latura } ab, v_{ab} = K_{I\beta}) \quad (4.86)$$

— pentru latură adiacentă corecția este dată de diferența dintre corelatele (cu semnele corespunzătoare) celor două ochiuri adiacente

$$(\text{exemplu } v_{de} = K_{I\beta} - K_{III\beta}) \quad (4.87)$$

Corecțiile vor fi aplicate orientărilor provizorii calculate anterior, rezultînd orientările definitive.

Cu aceste orientări se vor calcula relativele pe x și pe y pentru fiecare latură a traseului, plecînd dintr-un punct de coordonate cunoscute sau alese arbitrar. Se va calcula suma relativelor pe secțiunea AB :

$$\begin{aligned} \Delta'x_{Aa} + \Delta'x_{ab} + \Delta'x_{bc} + \Delta'x_{cB} &= [\Delta x]_A^B \\ \Delta'y_{Aa} + \Delta'y_{ab} + \Delta'y_{bc} + \Delta'y_{cB} &= [\Delta y]_A^B \end{aligned} \quad (4.88)$$

— lungimea desfășurată:

$$s_a + s_b + s_c + s_d = [S]_A^B = S_1 \quad (4.89)$$

în mod similar:

$$\begin{aligned} [\Delta'x]_B^D; [\Delta'y]_B^D; [S]_B^D &= S_2 \\ [\Delta'x]_D^A; [\Delta'y]_D^A; [S]_D^A &= S_3 \end{aligned} \quad (4.90)$$

iar lungimea totală a ochiului I este:

$$S_1 + S_2 + S_3 = S_I$$

în mod asemănător:

$$\begin{aligned} [\Delta'x]_B^C; [\Delta'y]_B^C; [S]_B^C &= S_4 \\ [\Delta'x]_C^D; [\Delta'y]_C^D; [S]_C^D &= S_5 \\ S_2 + S_4 + S_5 &= S_{II} \end{aligned} \quad (4.91)$$

$$\begin{aligned} [\Delta'x]_C^A; [\Delta'y]_C^A; [S]_C^A &= S_6 \\ S_3 + S_5 + S_6 &= S_{III} \end{aligned} \quad (4.92)$$

Se vor calcula neînchiderile pe coordonate în fiecare ochi în parte, ținând cont de semnul general de parcurgere al traseului:

$$\begin{aligned} W_{1x} &= [\Delta'x]_A^B + [\Delta'x]_B^D + [\Delta'x]_D^A \\ W_{2x} &= [\Delta'x]_B^C + [\Delta'x]_C^D + [\Delta'x]_D^B \\ W_{3x} &= [\Delta'x]_C^A + [\Delta'x]_A^D + [\Delta'x]_D^C \end{aligned} \quad (4.93)$$

și în mod similar:

$$\begin{aligned} W_{1y} &= [\Delta'y]_A^B + [\Delta'y]_B^D + [\Delta'y]_D^A \\ W_{2y} &= [\Delta'y]_B^C + [\Delta'y]_C^D + [\Delta'y]_D^B \\ W_{3y} &= [\Delta'y]_C^A + [\Delta'y]_A^D + [\Delta'y]_D^C \end{aligned} \quad (4.94)$$

Se scriu sistemele normale Gauss, corespunzătoare măsurătorilor condiționate ponderate, după următoarele reguli: pe diagonala principală coeficienții corelatelor vor fi pozitivi și vor avea ca mărime lungimea totală desfășurată a ochiului; ceilalți coeficienți vor fi negativi și vor avea lungimea secțiunii corespunzătoare laturii adiacente dintre corelată și ochiul de rețea.

$$\begin{cases} \text{Ochiul I} & +S_1 K_{Ix} & -S_2 K_{IIx} & -S_3 K_{IIIx} & +W_{1x} = 0 \\ \text{Ochiul II} & -S_2 K_{IIx} & +S_4 K_{IIx} & -S_5 K_{IIIx} & +W_{2x} = 0 \\ \text{Ochiul III} & -S_3 K_{Ix} & -S_5 K_{IIx} & +S_{III} K_{IIIx} & +W_{3x} = 0 \end{cases} \quad (4.95)$$

și în mod similar pentru axa y-ilor

$$\begin{aligned} +S_1 K_{Iy} & -S_2 K_{IIy} & -S_3 K_{IIIy} & +W_{1y} = 0 \\ -S_2 K_{Iy} & +S_4 K_{IIy} & -S_5 K_{IIIy} & +W_{2y} = 0 \\ -S_3 K_{Iy} & -S_5 K_{IIy} & +S_{III} K_{IIIy} & +W_{3y} = 0 \end{aligned} \quad (4.96)$$

Se rezolvă sistemele (4.95) și (4.96), rezultând corelatele K_{Ix} , K_{IIx} , K_{IIIx} și respectiv K_{Iy} , K_{IIy} , K_{IIIy} , cu ajutorul cărora vor fi calculate corecțiile totale pe fiecare secțiune a traseului acolat după următoarele reguli:

— pentru secțiune exterioară, corecția totală a secțiunii este dată de produsul dintre lungimea secțiunii, cu semnul sensului de calcul al relativei în raport cu suma generală de parcurgere a drumirii acolate și corelata corespunzătoare ochiului respectiv

$$\text{ex. } W_{1x} = S_1 \cdot K_{Ix} \text{ și respectiv: } W_{1y} = S_1 \cdot K_{Iy} \quad (4.97)$$

— pentru secțiune comună a două ochiuri corecția totală a secțiunii rezultă ca produsul dintre lungimea secțiunii comune și diferența dintre corelate, luate în ordinea scrierii corelatelor.

$$\text{ex: } W_{2x} = S_2(K_{Ix} - K_{IIx}) \text{ și respectiv: } W_{2y} = S_2(K_{Iy} - K_{IIy}) \quad (4.98)$$

Cunoscând corecțiile totale pe secțiuni se va face compensarea pe relative, calculând pe fiecare secțiune corecțiile unitare:

$$C_{ix}^0 = \frac{W_{ix}}{S_i}; \quad C_{iy}^0 = \frac{W_{iy}}{S_i} \quad (4.99)$$

exemplu:

$$C_{1x} = \frac{W_{1x}}{S_1}; \quad C_{1y} = \frac{W_{1y}}{S_1} \quad (4.100)$$

— corecțiile pe relative:

$$v_{fx} = [S]^f C_{ix}^0; \quad v_{fy} = [S]^f C_{iy}^0 \quad (4.101)$$

exemplu:

$$\begin{aligned} v_{Aax} &= s_a \cdot C_{1x}^0; \quad v_{Aay} = s_a \cdot C_{1y}^0 \\ v_{abx} &= (s_a + s_b) C_{1x}^0; \quad v_{aby} = (s_a + s_b) C_{1y}^0 \\ v_{bcx} &= (s_a + s_b + s_c) C_{1x}^0; \quad v_{bcy} = (s_a + s_b + s_c) C_{1y}^0 \\ v_{oBx} &= S_1 \cdot C_{1x}^0 = W_{1x}; \quad v_{oBy} = S_1 \cdot C_{1y}^0 = W_{1y} \end{aligned}$$

corecții ce se aplică relativelor, calculate provizoriu

$$\Delta jx = \Delta'_{jx} + v_{fx}; \quad \Delta jy = \Delta'_{jy} + v_{fy} \quad (4.102)$$

exemplu:

$$\begin{aligned} \Delta x_{Aa} &= \Delta'_{x_{Aa}} + v_{Aax}; \quad \Delta y_{Aa} = \Delta'_{y_{Aa}} + v_{Aay} \\ \Delta x_{ab} &= \Delta'_{x_{ab}} + v_{abx}; \quad \Delta y_{ab} = \Delta'_{y_{ab}} + v_{aby} \\ \Delta x_{bc} &= \Delta'_{x_{bc}} + v_{bcx}; \quad \Delta y_{bc} = \Delta'_{y_{bc}} + v_{bcy} \\ \Delta x_{cB} &= \Delta'_{x_{cB}} + v_{cBx}; \quad \Delta y_{cB} = \Delta'_{y_{cB}} + v_{cBy} \end{aligned} \quad (4.103)$$

Obținând astfel relativele compensate, care se vor adăuga la coordonatele unui singur punct cunoscut, vor rezulta coordonatele definitive pentru întreg traseul poligonal acolat.

4.2. NIVELMENT SUBTERAN

Scopul nivelmentului este de a determina înălțimea diferitelor puncte topografice de nivelment în raport cu o suprafață unică de referință pentru cote, necesare reprezentării lucrărilor miniere cunoscute ca poziție planimetrică.

Dat fiind caracterul definit al sistemului de cote în raport cu sistemul de coordonate, rețeaua nivelitică este de regulă separată de rețeaua planimetrică, dar pe aceleași lucrări miniere.

Nivelmentul face parte integrantă din sistemul de referință al bazinului minier, fapt ce impune unicitatea atât la suprafață cât și în subteran. În acest scop este necesară legarea unitară a cotelor punctelor topografice de la suprafață cu punctele subterane.

4.2.1. TRANSMITEREA COTELOR ÎN SUBTERAN

Transmiterea cotelor se face în subteran pe gurile de acces în subteran, deosebind în acest sens două categorii de lucrări: galeria de coastă și puțul vertical de mină.

Transmiterea cotelor pe galeria de coastă. Reperele de nivelment necesare materializării sistemului de referință la suprafața bazinului minier sînt marcate fie prin borne de beton de cote cunoscute (prin nivelment geometric de la mijloc, de mare precizie, din rețeaua națională de nivelment), fie prin repere nivelitice pe clădiri (de aceeași precizie).

În cazul accesului în subteran pe galerie de coastă sau plan înclinat (fig. XV.53), cota se transmite în subteran prin nivelment geometric de la mijloc.

Se cunoaște cota H_A a reperului de nivelment A . La mijlocul distanței ($d < 200$) pînă la punctul 501 unde se transmite cota H_{501} , se staționează cu o nivelă. Reperul

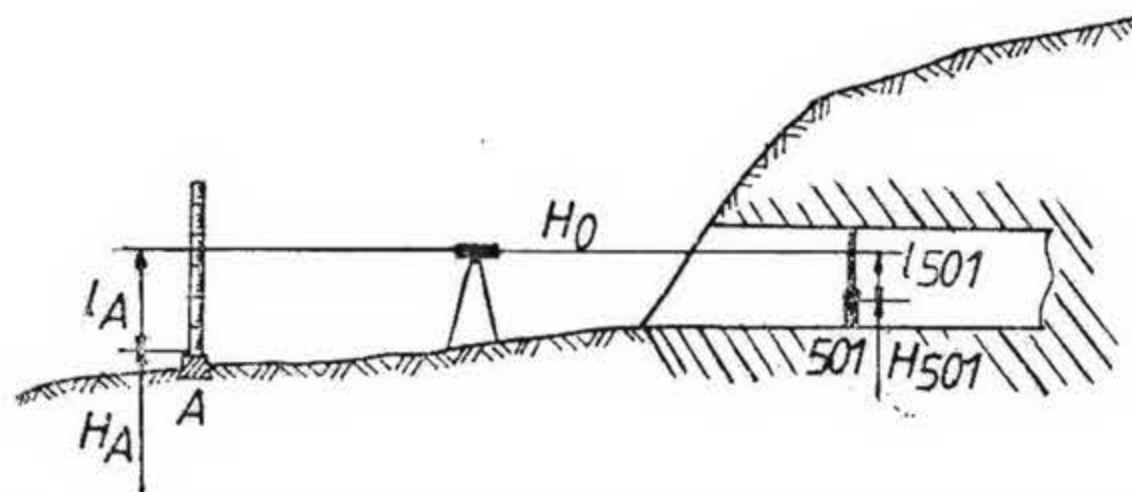


Fig. XV.53. Transmiterea cotelor pe galerie de coastă.

de nivelment A și punctul din subteran 501 vor fi semnalizate cu mire parlante aparținătoare nivelei, mire pe care vor fi făcute lecturile l_A , respectiv l_{501} .

Cota orizontului:

$$H_0 = H_A + l_A \quad (4.104)$$

Cota punctului 501:

$$H_{501} = H_0 - l_{501} \text{ sau } H_{501} = H_0 + l_A - l_{501} \quad (4.105)$$

Se observă că diferența de nivel

$$h_{501A} = H_{501} - H_A \quad (4.106) \text{ sau } h_{501A} = l_A - l_{501} \quad (4.107)$$

Transmiterea cotelor pe puțul vertical de mină. Se face funcție de aparatura existentă, condițiile ce le oferă puțul respectiv și destinația datelor obținute. Sînt cunoscute mai multe metode:

Transmiterea cotei cu panglica se execută astfel: din turnul puțului unde se montează bobina cu panglica de 100, 250 sau 500 m, se lansează panglica lestată în secțiunea puțului degrevat momentan la transport și aeraj. La suprafață se cunoaște un reper de nivelment A , prin cota H_A , care va fi semnalizat cu o miră corespunzătoare aparatului de nivelat cu care se fac citirile atât pe miră (l_A) cât și pe panglică (b).

În subteran se staționează cu nivela la jumătatea distanței dintre reperul nivelitic a cărui cotă va fi determinată, reper semnalizat printr-o miră parlată corespunzătoare aparatului pe care se va face lectura l_{501} și panglica lestată în puț, pe care se face lectura a . Din fig. XV.54 se observă că înălțimea brută (cota) punctului 501 rezultă din:

$$H'_{501} = H_A + l_A - (l - a) + l_{501} \quad (4.108)$$

cotă careia trebuie să i se aducă corecțiile corespunzătoare adîncimii puțului: de temperatură (C_t) și de tensiune (C_p).

$$H_{501} = H'_{501} + C_t + C_p \quad (4.109)$$

Corecția de temperatură este o funcție de temperatura de lucru t , care se ia ca medie

$$t = \frac{t^s + t_s}{2} \quad (4.110)$$

a temperaturii de la gura puțului t^s și temperatura pe puț t_s , la orizontul la care se determină cota; temperatura de etalonare a ruletei este de obicei 20° , și lungimea măsurată pe panglică ($b - a$).

$$C_t = (b - a) \cdot (t^\circ - 20^\circ) \cdot 0,0115 \quad (4.111)$$

Corecția de alungire a firului este funcție de masa specifică a oțelului ($\gamma = 7,8 \text{ kg/dm}^3$), modulului de elasticitate a oțelului ($E = 2 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$) și lungimea l desfășurată a ruletei.

$$C_p = \frac{\gamma \cdot 1000}{10 E} \cdot (b - a) \cdot \left(l - \frac{b - a}{2} \right) \quad (4.112)$$

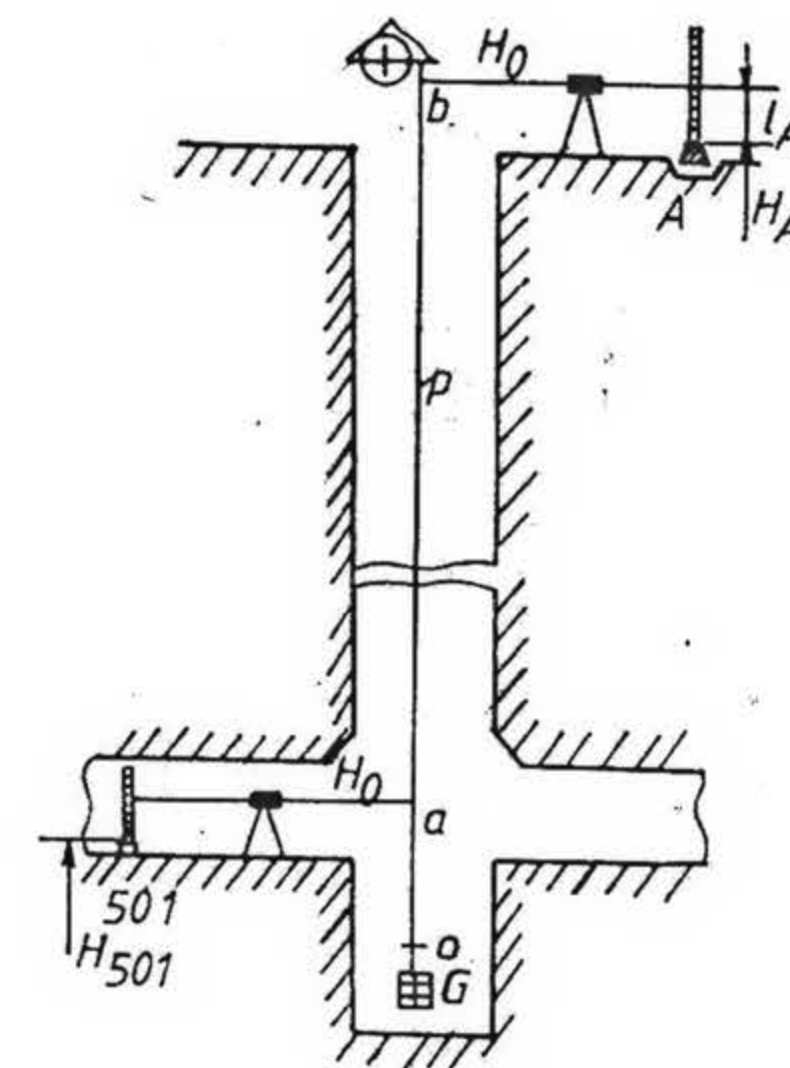


Fig. XV.54. Transmiterea pe puț a cotei cu panglică specială.

Transmiterea cotei cu ruleta se face în cazul absenței panglicilor speciale. La aplicarea metodei (fig. XV.55) vor participa doi operatori topografi: primul (O_1) va lua loc pe acoperișul coliviei puțului, fiind asigurat cu centură de siguranță, iar cel de al doilea (O_2) va fi plasat într-o chiblă, pe funia coliviei, la o înălțime aproximativ egală cu lungimea ruletei și va ține capătul de zero al ruletei.

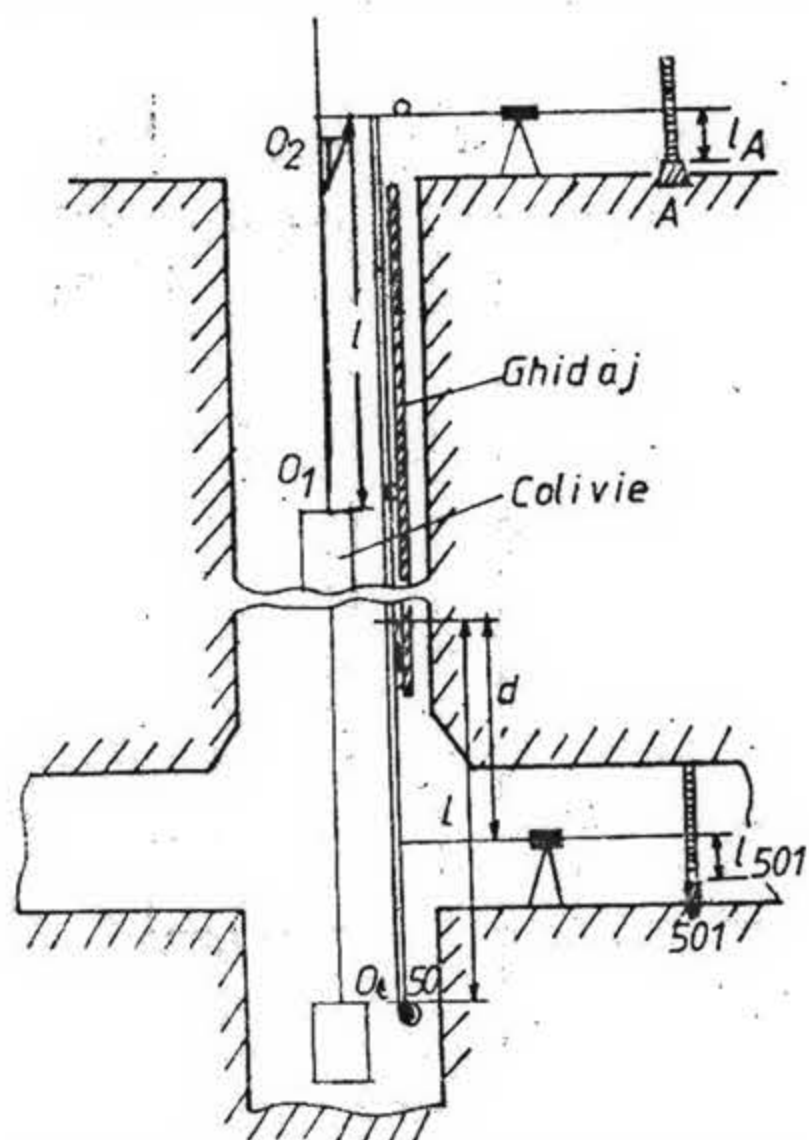


Fig. XV.55. Transmiterea pe puț a cotelor cu ruletă.

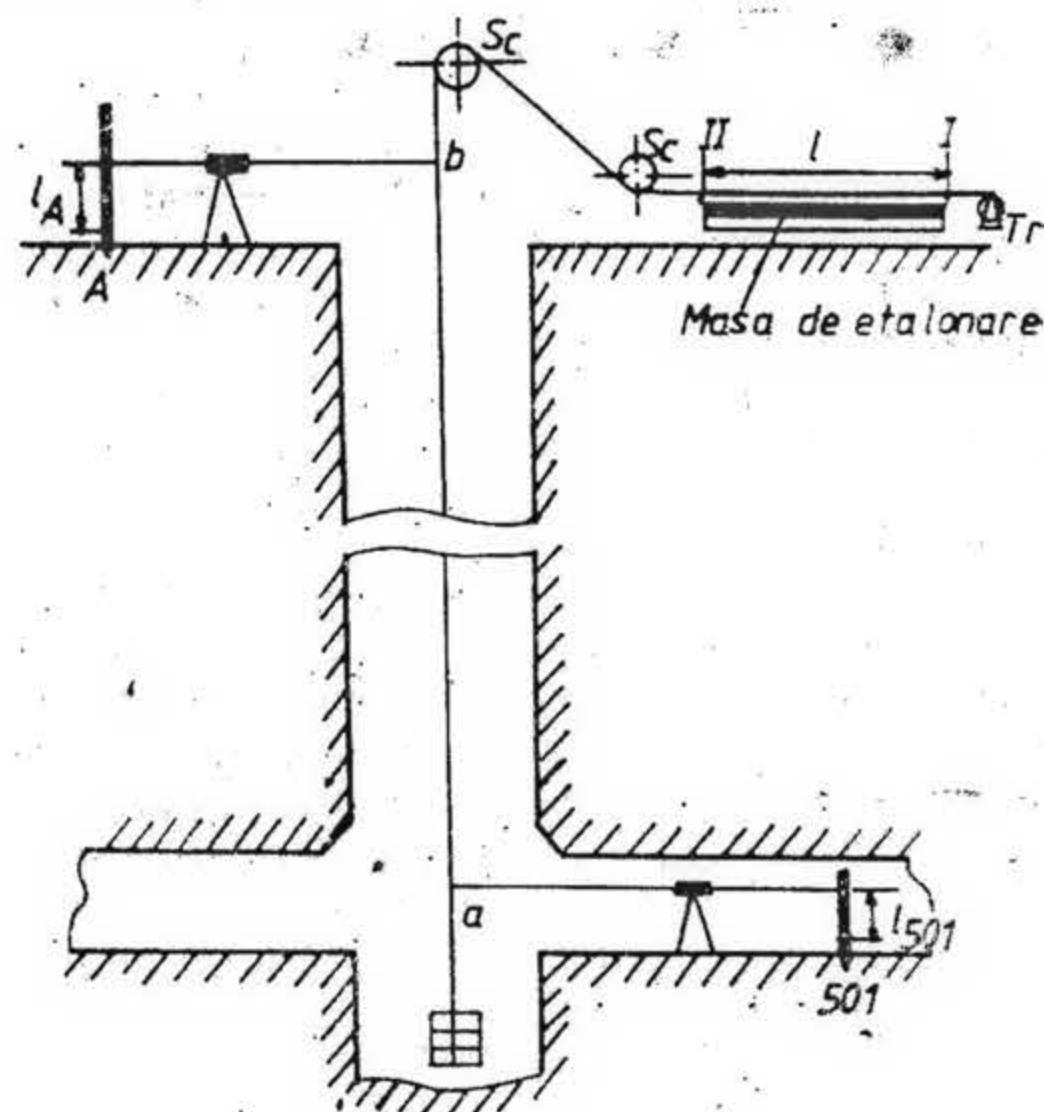


Fig. XV.56. Transmiterea pe puț a cotelor cu firul lestat.

Operația de măsurare începe de sus în jos, prin coborîrea coliviei cu mașina de extracție și opriri la intervale aproximativ egale cu lungimea ruletei. Cei doi operatori vor măsura lungimi egale cu lungimea ruletei (l), lungimi marcate de operatorul (O_1) prin baterea unor cuie reper pe același ghidaj al puțului. La orizontul la care se transmite cota va fi vizată ultima citire pe ruleta d . Înălțimea măsurată ($b - a$):

$$(b - a) = n \cdot l + d \quad (4.113)$$

relație în care n reprezintă numărul de rulete întregi măsurate.

Cota provizorie H'_{501} a punctului 501 va fi dată de relația (4.108). Influența variației tensiunii de întindere și de alungire este neglijabilă, va fi aplicată numai corecția de temperatură C_t (4.110), (4.111). Cota definitivă va fi:

$$H_{501} = H'_{501} + C_t \quad (4.114)$$

Transmiterea cotei utilizând fire lestate. Poate utiliza un fir folosit anterior la proiectarea mecanică a coordonatelor, făcînd o amenajare suplimentară (fig. XV.56), constînd din instalarea unei mese de etalonare, prin fața căreia să treacă firul la înmagazinarea sa.

Prin măsurători de nivelment se vizează pe fir, la suprafață, un punct b care se marchează prin crestare, vopsire sau cositorire, iar în subteran se vizează un punct a care se marchează asemănător.

Se trage firul din puț pe trolul Tr ghidat pe scripete Sc prin fața mesei de etalonare. La capătul I al mesei de etalonare se aduce semnul b de pe fir, în dreptul capătului II se așază o agrafă de măsurare, se depozitează firul în continuare pe trolu, pînă agrașa ajunge în I , punîndu-se o nouă agrafă în II și așa mai departe înregistrîndu-se numărul (n) de treceri a lungimii l (a etalonului) pe fir, măsurîndu-se și ultima porțiune cu ajutorul unei rulete. Lungimea:

$$(b - a) = n \cdot l + d \quad (4.115)$$

Cota provizorie H'_{501} a punctului de nivelment 501 este dată de (4.108), cotă asupra căreia va fi adusă doar corecția de temperatură după relațiile (4.110), (4.111), rezultînd cota definitivă H_{501} dată de relația (4.114).

4.2.2. METODE DE NIVELMENT SUBTERAN

Nivelmentul subteran, ca principii de utilizare a metodelor, nu se deosebește de cel de la suprafață, decît prin modul de plasare al reperelor de nivelment. Materializarea reperelor de nivelment subteran se face în peretele lateral al galeriei, opus spațiului de circulație, la o înălțime de circa 30 cm față de vatră sau coroană șinei, prin repere metalice speciale pentru punctele principale și prin platbande pentru punctele curente de nivelment.

Metoda nivelmentului geometric de la mijloc. Este aplicată pe lucrările miniere cu pantă mică.

Reperul 501 de cotă cunoscută H_{501} este semnalizat printr-o miră parlantă, ca și punctul 502 a cărui cotă se cere a fi determinată (fig. XV.57).

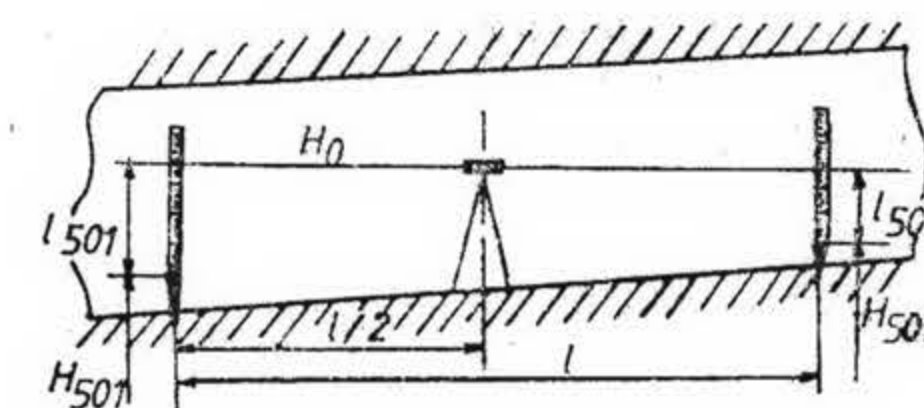


Fig. XV.57. Nivelment geometric de la mijloc în subteran.

Aparatul de nivelat va fi amplasat aproximativ la jumătatea distanței ($d < 200$ m) dintre cele două puncte. Se vizează mira din punctul 501 și se face lectura l_{501} și apoi mira din 502 și se face lectura l_{502} .

Cota orizontului:

$$H_0 = H_{501} + l_{501} \quad (4.116)$$

Cota punctului 502;

$$H_{502} = H_0 - l_{502} \quad (4.117)$$

sau

$$H_{502} = H_{501} + l_{501} - l_{502} \quad (4.118)$$

Diferența de nivel dintre cele două repere

$$h_{502-501} = H_{502} - H_{501} \quad (4.119)$$

$$h_{502-501} = l_{501} - l_{502} \quad (4.120)$$

Pentru un traseu nivelitic, se procedează asemănător pentru fiecare nivelu în parte.

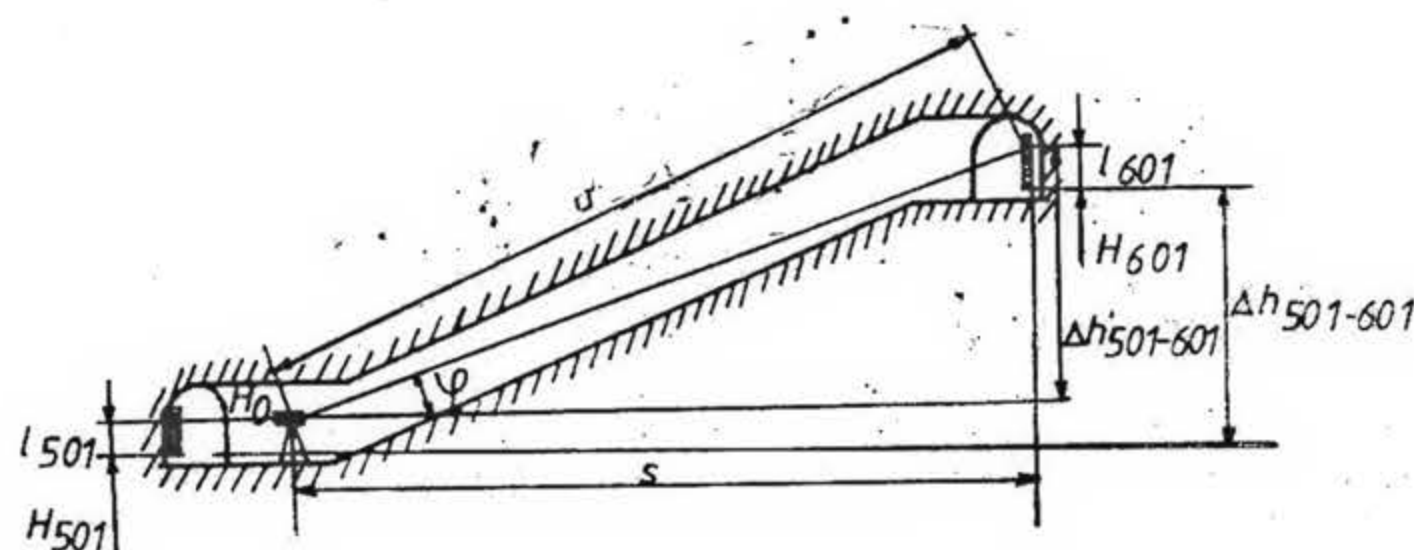


Fig. XV.58. Nivelment trigonometric subteran

Metoda nivelmentului trigonometric. Este aplicată în cazul planelor înclinate cu pantă mare, în imposibilitatea aplicării nivelmentului geometric de la mijloc.

Reperul cunoscut 501 se semnalizează cu o miră parlantă. Cu un teodolit se face stație într-un punct cu vizibilitatea înspre ambele puncte. Cu luneta orizontală se vizează reperul cunoscut 501, făcându-se lectura l_{501} (fig. XV.58).

Cota orizontului va fi:

$$H_0 = H_{501} + l_{501}$$

Se vizează apoi mira ce semnalizează punctul 601, făcându-se lectura l_{601} , citindu-se și unghiul vertical φ . Cunoscând distanța orizontală s sau măsurind distanța înclinată d , poate fi calculată diferența de nivel $\Delta h'_{501,601}$ între teodolit și viza pe miră:

$$\Delta h'_{501,601} = s \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4.121)$$

sau

$$\Delta h'_{501,601} = d \cdot \sin \varphi \quad (4.122)$$

atunci diferența de nivel dintre punctele 501 și 601 va fi:

$$\Delta h_{501,601} = l_{501} + \Delta h'_{501,601} - l_{601}$$

Pentru simplificarea relației se alege ca lectură pe miră înainte din 601 egală lectura din viza înapoi către 501

$$l_{601} = l_{501} \quad (4.123)$$

astfel încît:

$$\Delta h_{501,601} = \Delta h_{501,502} \quad (4.124)$$

Cota punctului 601;

$$H_{601} = H_{501} + l_{501} + s \operatorname{tg} \varphi - l_{601} \quad (4.125)$$

sau

$$H_{601} = H_{501} + l_{501} + d \sin \varphi - l_{601} \quad (4.126)$$

dar respectînd condiția (5.123):

$$H_{601} = H_{501} + s \operatorname{tg} \varphi \quad (4.127)$$

respectiv

$$H_{601} = H_{501} + d \sin \varphi \quad (4.128)$$

În cazul cînd condițiile subterane impun utilizarea teodolitului cu ambele vize înclinate, atunci relația se modifică în consecință.

Nivelmentul în trepte. Cunoscut și sub numele de *nivelment prin stafilare*, după denumirea instrumentului ce se utilizează, nivelmentul în trepte este aplicat în lucrările miniere de formă neregulată, cu diferențe mari de nivel, cazuri imposibile de soluționat prin nivelment geometric de la mijloc. Stafilatorul este construit din două rigle gradate (1–1,5 m) (fig. XV.59), perpendiculare între ele, cu posibilități de glisare. Dispozitivul, la utilizare, va avea rigla orizontală orizontalizată cu o nivelă cu bulă de aer (boloboc) sau riglă verticală, verticalizată cu un fir cu plumb.

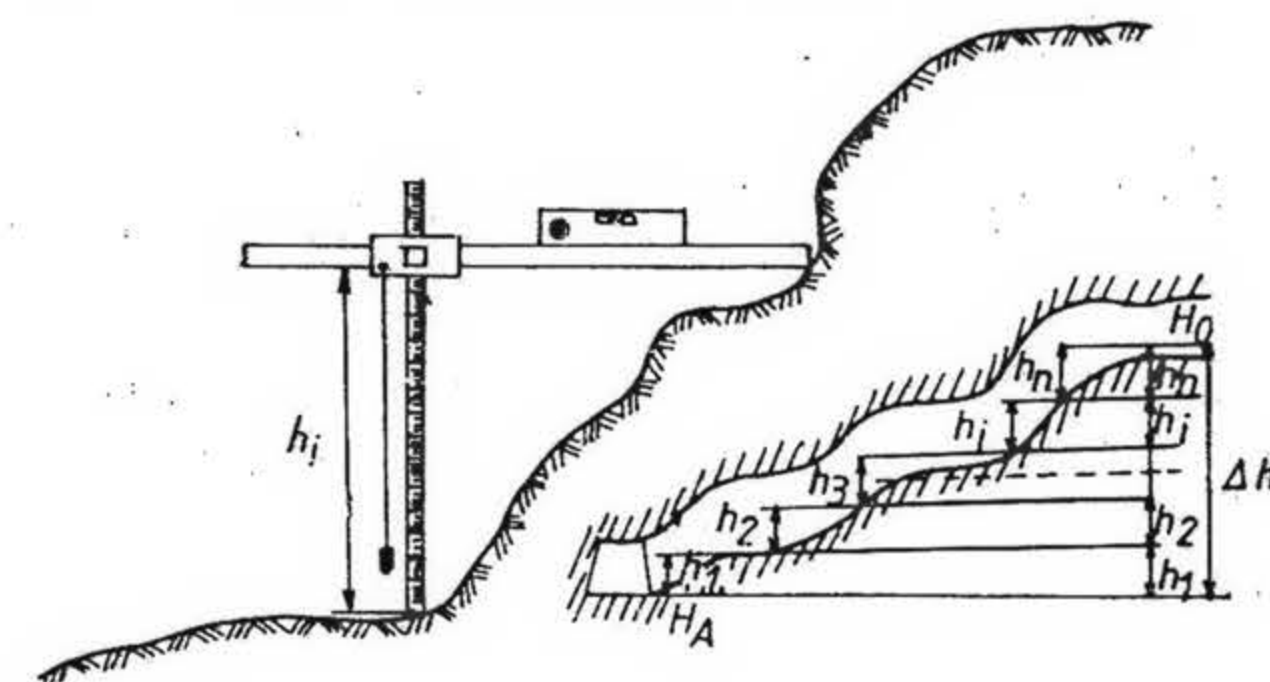


Fig. XV.59. Nivelment subteran în trepte.

Diferența de nivel dintre două puncte h_i va fi citită pe rigla culisabilă verticală, în dreptul reperului aflat pe glisieră.

Diferența totală va fi stabilită prin însumarea diferențelor de nivel parțiale.

$$\Delta h_{AB} = [h] \quad (4.129) \quad H_B = H_A + \Delta h_{AB} \quad (4.130)$$

4.2.3. TRASEE NIVELITICE SUBTERANE

Definirea spațială a rețelei subterane de lucrări miniere se face și prin poziționarea pe înălțime a tuturor punctelor caracteristice, unitar legate între ele prin trasee de nivelment de bună precizie.

După modul de constituire (forma lucrărilor miniere), sînt utilizate în subteran mai multe tipuri de trasee de nivelment:

nometric se calculează cotele necompensate ale punctelor curente pe trasee și a punctului nodal N . Va rezulta deci pe:

traseul 10 $H'_H = H_{510} + [\Delta h_1]_0^i$; lungimea traseului $[d]_{10}^i$

traseul 20 $H''_N = H_{520} + [\Delta h_2]_0^j$; lungimea traseului $[d]_{20}^j$

traseul 30 $H'''_N = H_{530} + [\Delta h_3]_0^k$; lungimea traseului $[d]_{30}^k$

Coefficienții de pondere:

Traseul	Lungimea	Nivelment geometric	Nivelment trigonometric
I	$[d]_{10}^i$	$p'_N = \frac{1}{[d]_{10}^i}$	$p'_N = \frac{1}{\{[d]_{10}^i\}^2}$
II	$[d]_{20}^j$	$p''_N = \frac{1}{[d]_{20}^j}$	$p''_N = \frac{1}{\{[d]_{20}^j\}^2}$
III	$[d]_{30}^k$	$p'''_N = \frac{1}{[d]_{30}^k}$	$p'''_N = \frac{1}{\{[d]_{30}^k\}^2}$

Cea mai probabilă valoare a cotei punctului nodal N va fi media aritmetică ponderată:

$$H_N = \frac{p'_N \cdot H'_N + p''_N \cdot H''_N + p'''_N \cdot H'''_N}{p'_N + p''_N + p'''_N} \quad (4.132)$$

Se calculează neînchiderea pe cotă, pe fiecare traseu, după relația (4.133)

$$W'_N = H_N - H'_N; \quad W''_N = H_N - H''_N; \quad W'''_N = H_N - H'''_N \quad (4.133)$$

cu ajutorul cărora vor fi calculate corecțiile unitare pe cote, pe fiecare traseu, cu relația (4.134)

$$C_N^{0'} = \frac{W_H}{[d]_0^i}; \quad C_N^{0''} = \frac{W_H}{[d]_0^j}; \quad C_N^{0'''} = \frac{W_H}{[d]_0^k} \quad (4.134)$$

și apoi vor fi compensate cotele provizoriu calculate, proporțional cu lungimea traseului parcurs:

$$\begin{aligned} H_{11} &= H'_{11} + d_{11} C_N^{10} \\ H_{12} &= H'_{12} + (d_{11} + d_{12}) C_N^{10} \\ H_N &= H'_N + [d]_0^i C_N^{10} \end{aligned} \quad (4.135)$$

și în mod similar pe celelalte trasee.

Rețea nivelitică acolată. Este construită din ochiuri adiacente de nivelment (fig. XV.61).

Se cunoaște cota unui singur punct aparținând rețelei nivelitice acolate. Se măsoară diferențele de nivel dintre punctele curente aparținând fiecărei secțiuni în parte,

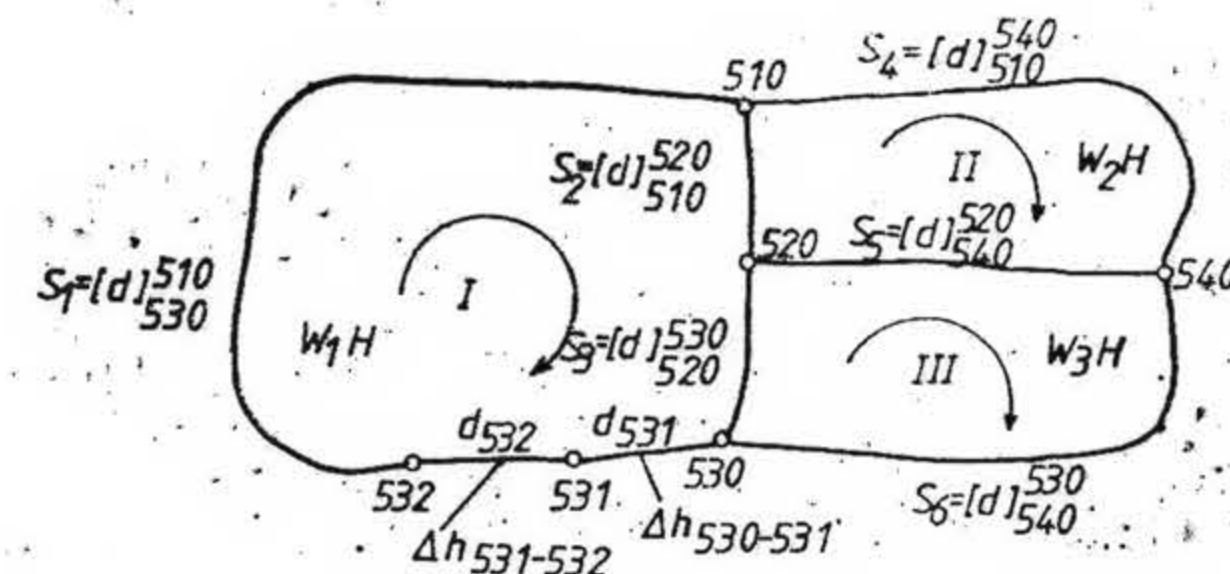


Fig. XV.61. Rețea nivelitică acolată.

diferențe de nivel ce se însumează după sensul general al traseului acolat. Astfel vor rezulta:

$$[\Delta h']_{530}^{510}; [\Delta h']_{510}^{520}; [\Delta h']_{520}^{530}; [\Delta h']_{510}^{540}; [\Delta h']_{540}^{520}; [\Delta h']_{540}^{530}$$

Ca mod de rezolvare se urmărește modul de compensare pe coordonate a rețelei planimetrice acolate (§ 4.1.3.6).

Se calculează lungimea fiecărei secțiuni $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ și lungimea fiecărui ochi în parte:

$$\begin{aligned} S_I &= S_1 + S_2 + S_3 \\ S_{II} &= S_2 + S_4 + S_5 \\ S_{III} &= S_3 + S_5 + S_6 \end{aligned} \quad (4.136)$$

Se calculează neînchiderile pe cote în fiecare ochi în parte:

$$\begin{aligned} W_{1H} &= [\Delta h']_{530}^{510} + [\Delta h']_{510}^{520} + [\Delta h']_{520}^{530} \\ W_{2H} &= [\Delta h']_{510}^{520} + [\Delta h']_{520}^{540} + [\Delta h']_{540}^{510} \\ W_{3H} &= [\Delta h']_{520}^{530} + [\Delta h']_{530}^{540} + [\Delta h']_{540}^{520} \end{aligned} \quad (4.137)$$

Cum coeficienții de pondere sînt funcție tot de lungimea traseului parcurs, se ține cont de aceleași considerente după care au fost scrise sistemele (4.95) și (4.96) rezultînd astfel:

$$\begin{aligned} S_1 K_{IH} - S_2 K_{IIH} - S_3 K_{IIIH} + W_{1H} &= 0 \\ -S_2 K_{IH} + S_{II} K_{IIH} - S_5 K_{IIIH} + W_{2H} &= 0 \\ -S_3 K_{IH} - S_5 K_{IIH} + S_{III} K_{IIIH} + W_{3H} &= 0 \end{aligned} \quad (4.138)$$

Sistem care, rezolvat, va oferi valorile corelatelor K_{IH} , K_{IHH} și K_{IIH} cu ajutorul cărora vor fi calculate corecțiile totale pe fiecare secțiune în parte, conform considerațiilor de la rețeaua planimetrică acolată și anume:

— pentru secțiunea marginală de contur, corecția totală este dată de produsul dintre lungimea secțiunii și corecția corespunzătoare ochiului respectiv: ex.

$$W_{1H} = S_1 \cdot K_{IH} \quad (4.139)$$

— pentru secțiunea comună, corecția totală pe secțiune este dată de produsul dintre lungimea secțiunii și diferența dintre corelatele celor două ochiuri adiacente, luate ca semn după sensul general al întregului traseu: ex.

$$W_{2H} = S_2(K_{IH} - K_{IHH}) \quad (4.140)$$

Corecțiile totale astfel rezultate vor fi repartizate tuturor diferențelor de nivel corespunzătoare secțiunii respective în raport cu lungimea traseului parcurs. Corecția unitară pe secțiune este dată de:

$$C_{iH}^0 = \frac{W_{iH}}{S_i} \quad (4.141)$$

ex.

$$C_{1H}^0 = \frac{W_{1H}}{S_1}$$

cu ajutorul căreia se calculează corecția corespunzătoare pe diferența de nivel:

$$v_{jH} = [d]^j C_{iH}^0 \quad (4.142)$$

$$v_{530-531} = d_{530-531} \cdot C_{1H}^0$$

$$v_{531-532} = (d_{531} + d_{532}) C_{1H}^0 \quad (4.143)$$

$$v_{510} = S_1 C_{1H}^0$$

iar diferențele de nivel compensate vor fi:

$$h_{530-531} = h'_{530-531} + v_{530-531}$$

$$h_{531-532} = h'_{531-532} + v_{531-532} \quad (4.144)$$

$$h_{510} = h'_{510} + v_{510}$$

Se procedează în mod asemănător pe toate secțiunile. Cunoscând diferențele de nivel compensate, se pot ușor calcula cotele definitive aferente întregii rețele nivelitice acolate.

4.3. RIDICAREA DE DETALII ÎN SUBTERAN

Întocmirea completă a planurilor și hărților topografice, evidențierea deformărilor lucrărilor miniere și rectificarea acestora, stabilirea cantităților și volumelor de producție în subteran necesită lucrări topografice de ridicări de detalii.

4.3.1. RIDICAREA DE DETALII ÎN LUCRĂRI MINIERE ORIZONTALE

O lucrare minieră, din punctul topografic al măsurătorilor, calculelor și reprezentărilor grafice se reduce la axa lucrării miniere, care se definește ca intersecția dintre planul vertical de simetrie (VV) și planul orizontal (HH), situat la înălțimea de 1 m față de coroana șinei (fig. XV.62).

Ridicările topografice de detaliu vor fi făcute în condițiile identificării acestei axe, raportate la sistemul topografic de sprijin subteran (fig. XV.63).

Pe lucrarea minieră vor fi semnalizate punctele topografice 501 și 502, cu ajutorul unor fire cu plumb pe lângă care se întinde o ruletă (I) la înălțimea de 1 m față de coroana șinei. Prin metoda ordonatelor și absciselor la intervalele de 1 m,

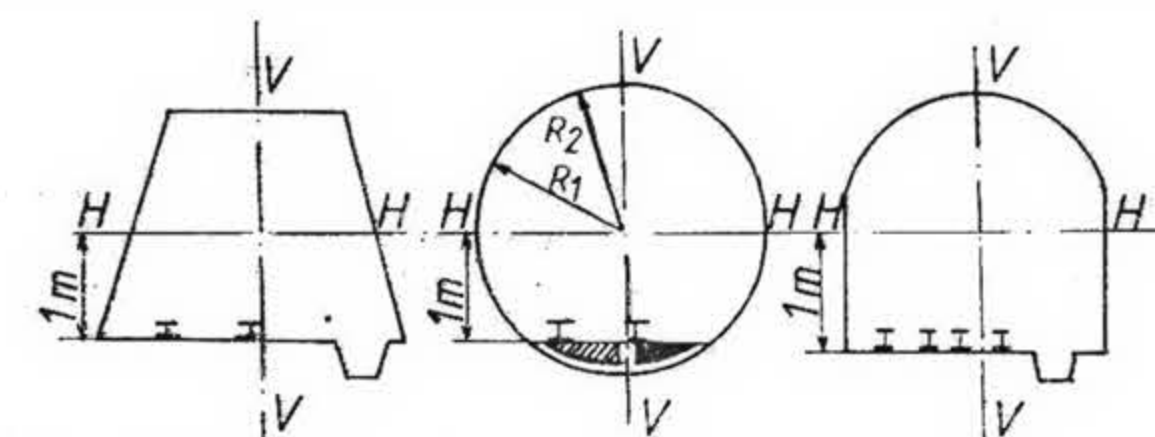


Fig. XV.62. Planele și axele de simetrie ale unor lucrări miniere orizontale.

5 m, 10 m, se vor măsura distanțele de la perete la ruleta (I) făcând citirile: zero la un perete, a_i la ruleta (I) și b_i la cel de al doilea perete. Planul de detaliu al galeriei se obține raportând măsurătorile la rețeaua topografică cunoscută, prin unirea

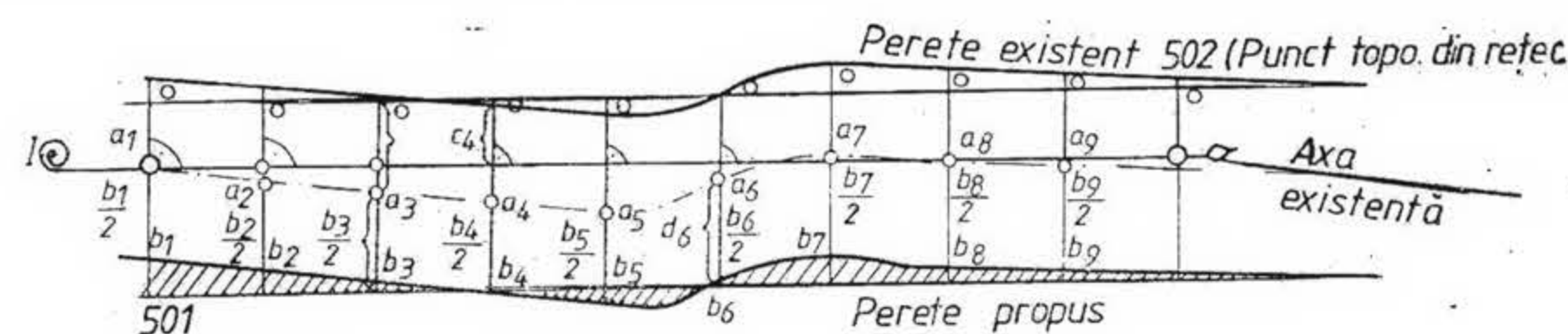


Fig. XV.63. Ridicarea de detalii în lucrări miniere orizontale.

punctelor de același fel. Axa reală a lucrării miniere se găsește la poziția $b_i/2$ pentru fiecare secțiune. Pentru eventuala rectificare a galeriei se trasează noua axă și conturul pereților, după care vor fi măsurate grafic, în fiecare secțiune, distanțele propuse de la pereții laterali față de ruleta (I): c_i stînga și d_i dreapta.

Nivelitic, ridicarea topografică se face prin întocmirea unui profil longitudinal la nivelul coroanei șinei sau, în lipsa acesteia, la nivelul vetrei lucrării miniere. Ca element de sprijin este utilizat un reper de nivelment din rețeaua nivelitică de sprijin, iar ridicarea nivelitică se face funcție de gradul de detaliu impus, utilizând nivelmentul geometric cu o echidistanță de 5 m sau 10 m.

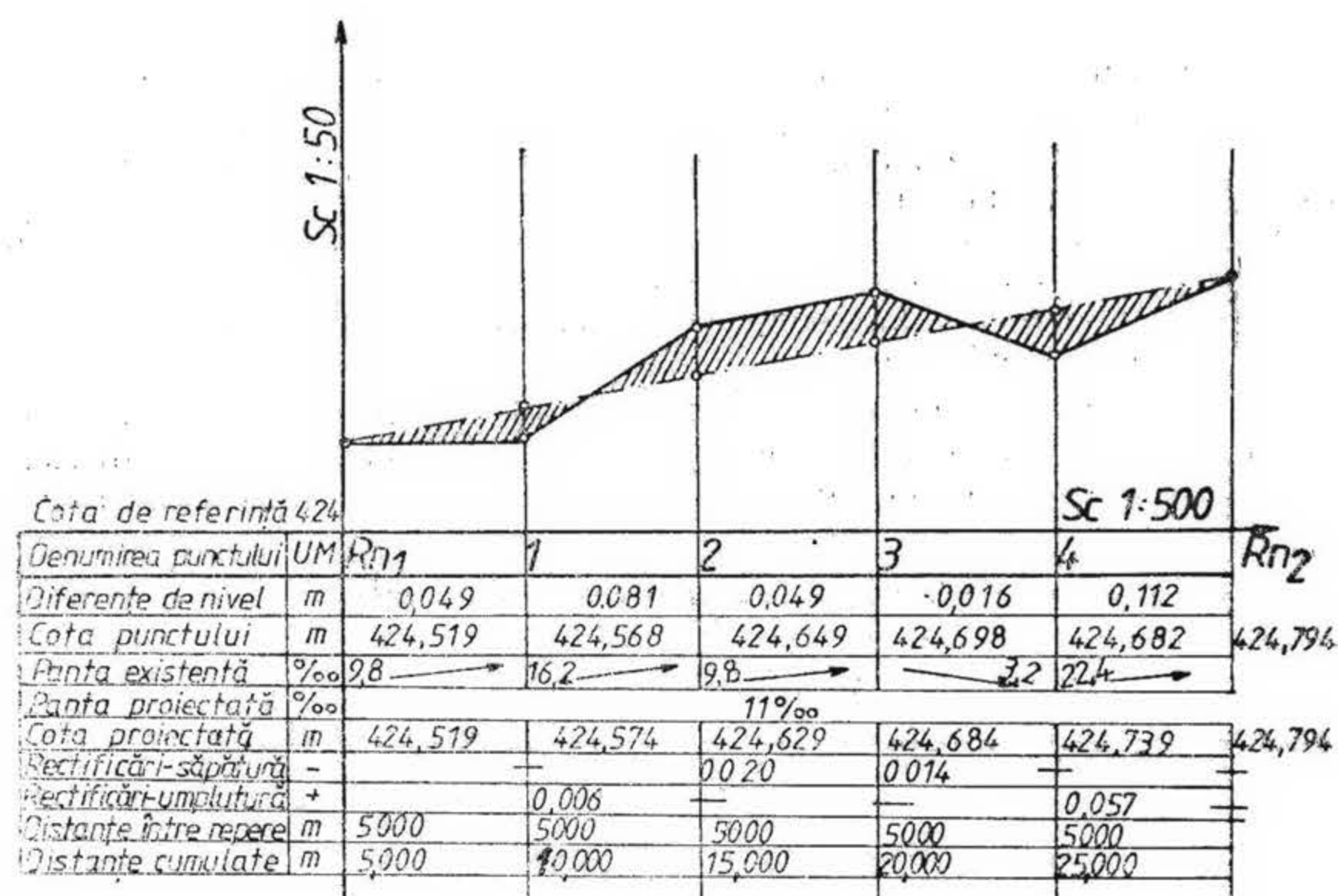


Fig. XV.64. Profil longitudinal de detaliu printr-o lucrare minieră orizontală.

În baza măsurătorilor executate, se va întocmi profilul longitudinal al lucrării miniere (fig. XV.64).

Când se impune și ridicarea topografică a tavanului lucrării miniere, se execută nivelmentul geometric de la mijloc, cu mira la tavan, în aceleași secțiuni în care se face nivelmentul pentru vatră, întocmindu-se un profil longitudinal dublu, cu grafic și rubrici corespunzătoare vatră-tavan.

4.3.2. RIDICAREA DE DETALII ÎN LUCRĂRI MINIERE VERTICALE

Puțul vertical de mină este definit, din punct de vedere constructiv, printr-o axă verticală rezultată prin intersecția a două plane verticale de simetrie. În secțiune, puțul se caracterizează printr-o serie de axe după cum urmează (fig. XV.65):

— (I, I) (II, II) axele secundare de transport rezultate din unirea mijloacelor ghidajelor perechi;

— (III, III) axa principală de transport ca medie a celor două axe secundare;

— (IV, IV) axa principală longitudinală a puțului ce cuprinde centrul geometric (C) al puțului;

— (V, V) axa transversală a puțului (simetrică).

Axa principală de transport (III, III) este paralelă cu axa principală longitudinală (IV, IV) a puțului și se găsește la distanța m — decalajul axelor; E — centrul de extracție; E_I și E_{II} — centrele secundare de transport.

Prin ridicarea de detaliu în lucrarea minieră verticală (puțul vertical de mină) se urmărește întocmirea, în baza măsurătorilor topografice, a planului de detaliu al secțiunilor succesive ale puțului pe întreaga sa înălțime.

După gradul de detaliu impus, se stabilesc pe înălțimea puțului o serie de secțiuni de ridicat (relevu) alese la echidistanțe de 5, 10 sau 20 m de la gura înspre jomul puțului. Operația de măsurare pe puț se execută degrevând momentan puțul de transport, iar operatorii topografi vor lucra pe colivia unui compartiment al puțului, (cealaltă colivie va fi suspendată în turnul puțului), colivie ce va coborî și opri la fiecare secțiune de relevu. În prima fază, vor fi fixate reperele de sprijin (A, B, C, D) (de la gura puțului înspre jom) în pereții puțului, pentru fiecare secțiune,

în locuri ușor accesibile. Măsurătorile vor consta în (fig. XV.66) poziționarea reciprocă a reperelor principale prin măsurarea tuturor distanțelor posibile (ab, ac, ad, bc, bd, cd). Faza a II-a va consta în ridicarea de detalii în raport cu reperele principale (ABCD), din jom înspre gura puțului, a tuturor punctelor caracteristice: capetele moazelor (a, b, c, d, e, f), ghidajelor (g_1, g_2, g_3, g_4), neregularități ale puțului (n, p), — metoda utilizată fiind intersecția distanțelor. Vor fi măsurate cel puțin două distanțe de la punctul de detaliu a la reperele de sprijin (aB, aC) (a_iD, g_iB) (nB, nC);

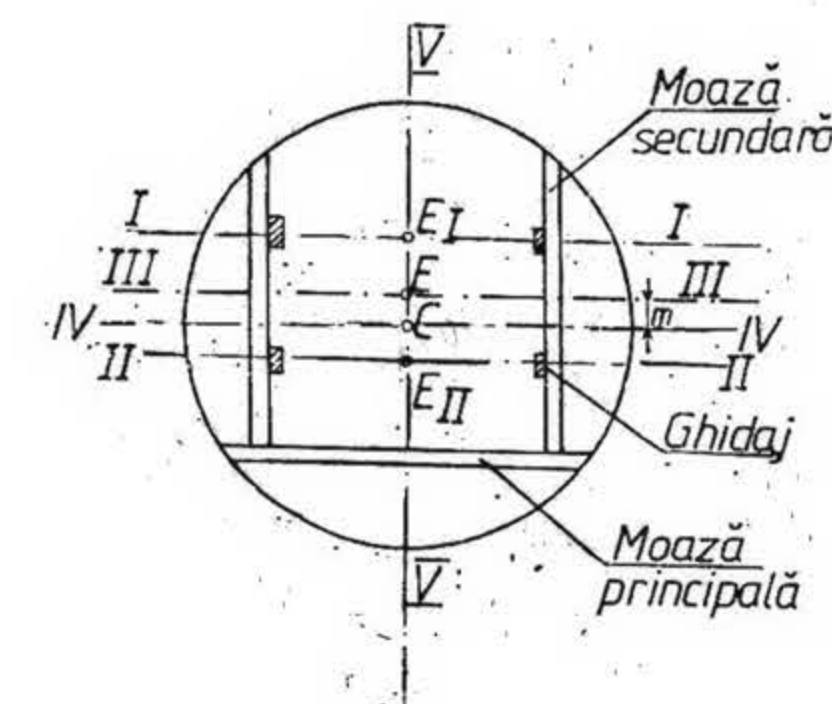


Fig. XV.65. Axele puțului vertical de mină.

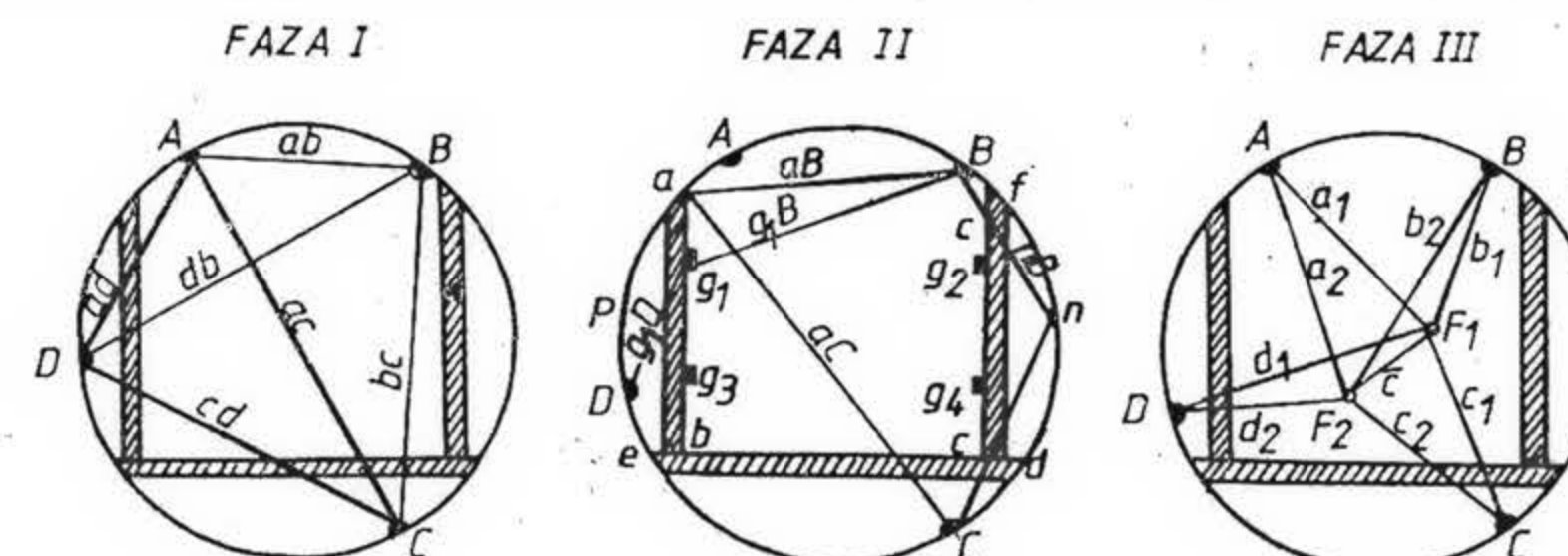


Fig. XV.66. Ridicarea detaliilor în puțul vertical de mină.

În faza a III-a se va poziționa fiecare secțiune în raport cu un sistem unic constând din două fire metalice F_1, F_2 lestate în secțiunea coliviei suspendată momentan din circulație. Se măsoară toate distanțele posibile dintre reperele de sprijin (A, B, C, D) și cele două fire (F_1, F_2) și, de asemenea, distanța dintre fire e pentru control.

Planele înclinate, suitorile și puțurile se recepționează și se evidențiază în aceleași condiții, cu observația că măsurătorile sînt sprijinite pe coroana șinei orizontului de la care a fost atacată lucrarea minieră respectivă.

Realizările sînt evidențiate pe reprezentările în secțiune a lucrărilor miniere și în formulare tip.

4.3.4. RECEPȚIA ȘI EVIDENȚA PRODUCȚIEI REALIZATE ÎN ABATAJE

Eșalonarea în timp a perioadelor de recepție a cantităților extrase în subteran este aceeași ca în cazul lucrărilor miniere.

Lucrările topografice de recepție și evidență a cantităților exploatare constau în măsurarea elementelor caracteristice golurilor create. Funcție de tipul de zăcămint și metoda de exploatare sînt utilizate metode corespunzătoare.

Zăcămintele stratiforme cu înclinare mică. Caracteristice sînt zăcămintele de cărbune la adîncime mică, în care abaterea substanței minerale utile se face cu exploziv (fig. XV.70) sau mecanizat, cu ajutorul combinelor (fig. XV.71).

În primul caz linia frontului fiind neregulată, aceasta va fi ridicată cu o bună precizie, utilizînd metoda coordonatelor rectangulare pe coardă. În acest scop se va utiliza ca sprijin rețeaua topografică existentă în zona respectivă. Astfel se va întinde o ruletă *I* între punctele 506 și 507 aparținînd rețelei topografice în galeria de bază (G_b). În frontul de lucru se întinde o a doua ruletă *II*, cît mai aproape de linia frontului, în dreptul citirii F_{II} pe ruleta *I*. Cu o a treia ruletă *III* se va constitui un triunghi de legătură, făcîndu-se citirile corespunzătoare I_{III} pe ruleta *I*, II_{III} pe ruleta *II* și III_{III} pe ruleta *III*. Față de ruleta *III* perpendiculare vor fi măsurate distanțele (a_i) pînă la front și citirile pe ruleta *II* (b_i).

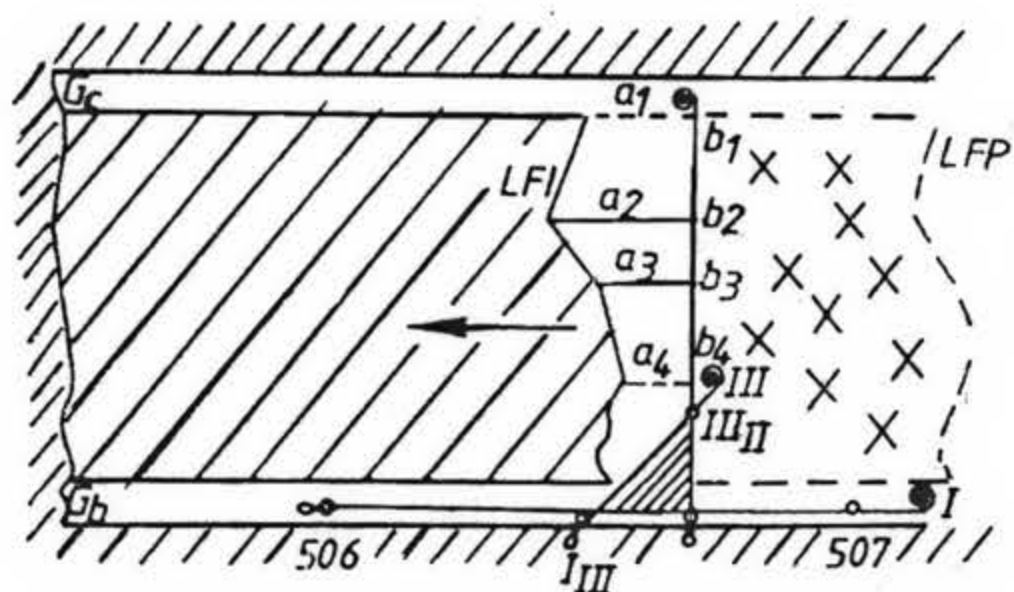


Fig. XV.70. Ridicarea liniei frontului în abataje de cărbune cu perforare-împușcare.

În cursul lunii vor fi măsurate înălțimile abatajului cu o densitate de circa 5 m. Pe planul abatajului vor fi raportate datele obținute în subteran, în ordinea în care au fost făcute observațiile. Unind punctele de același fel din front, se va obține linia frontului. Suprafața exploatată în cursul lunii respective va fi mărginită de linia frontului de la sfîrșitul lunii precedente (LFP), linia frontului la sfîrșitul lunii încheiate (LFI) și conturul celor două galerii de bază (G_b) și de capăt (G_c), suprafață care se va planimetra de cel puțin două ori, rezultînd $S_{I/81}$, suprafața exploatată în luna martie 1981.

Volumul exploatat V va rezulta ca produsul dintre înălțimea medie, h_m , în cursul lunii,

$$h_m = \frac{\sum_{i=1}^n h \cdot i}{n} \quad (4.145)$$

și suprafața planimetrată

$$V_{I/81} = S_{I/81} \cdot h_m \quad [m^3]. \quad (4.146)$$

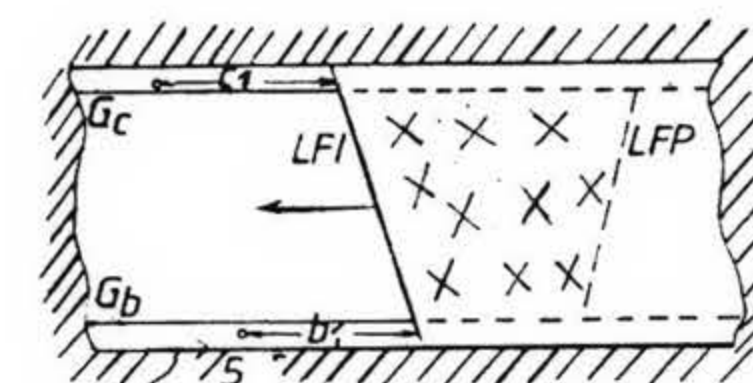


Fig. XV.71. Ridicarea liniei frontale la abataje de cărbune cu front lung și combină.

După obținerea liniei frontului este necesar indicarea în abataj a liniei corecte a liniei frontului, situată perpendicular pe sensul de înaintare a abatajului.

Dacă abaterea se face prin metode mecanizate (fig. XV.71), linia frontului este oarecum rectilinie, ridicîndu-se topografic ca atare.

Lucrările topografice sînt sprijinite pe puncte topografice (512, 509) față de care se măsoară cu ruleta poziția liniei frontului: b_1 față de 512 și c_1 față de 509.

Se raportează pe planul abatajului linia frontului la sfîrșitul lunii încheiate (LFI), plan pe care se găsește și linia frontului la sfîrșitul lunii precedente (LFP). Se va proceda, în continuare, ca în cazul arătat anterior pentru obținerea volumului exploatat în cursul lunii încheiate.

Zăcămintele stratiforme cu înclinare mare. La aceste tipuri de zăcămint, metodele topografice utilizate în evidențierea volumelor excavate fac uz de descompunerea golurilor create în corpuri geometrice simple a căror volume pot fi ușor identificate

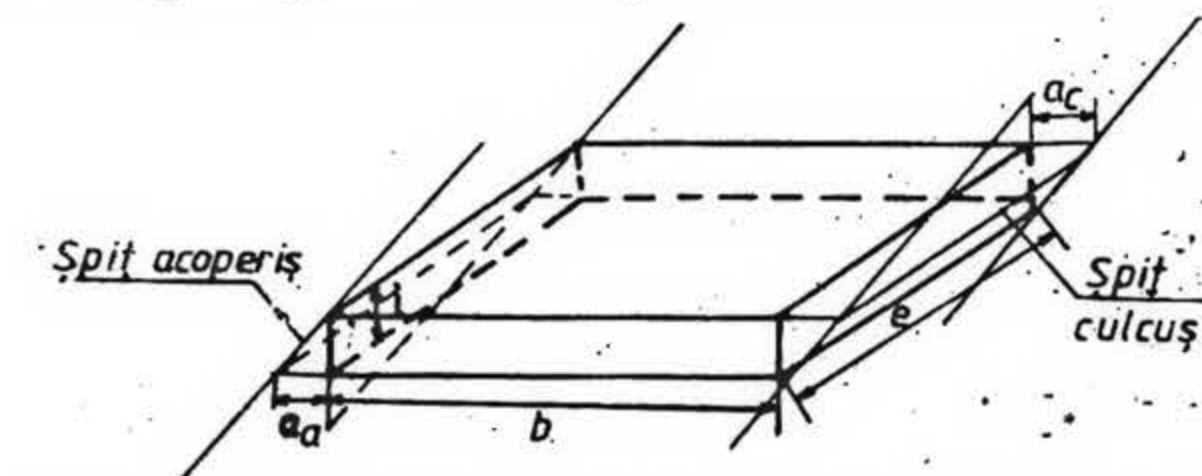


Fig. XV.72. Recepția producției în abataje de cărbune cu înclinare mare.

prin măsurători simple, urmînd ca volumul total să rezulte prin însumarea volumelor parțiale. Astfel se procedează atît în cazul metodei în trepte cît și în cazul exploatare în felii orizontale. În acest ultim caz, va fi evidențiat separat volumul de cărbune rezultat din spîțuri unde măsurătorile se fac pentru înălțimea feliei, adîncimea spîțului și lungimea spîțului (fig. XV.72).

Volumul total pentru felie este:

$$V = i \cdot l \left[b + \frac{1}{2} (a_a + a_c) \right] \quad (4.147)$$

Cantitatea corespunzătoare:

$$Q = V \cdot \gamma$$

unde: γ este masa volumetrică

De asemenea, va fi evidențiată separat cantitatea de cărbune extrasă din stratul subțire însoțitor (ex. stratul Paprică în Valea Jiului).

În unele cazuri se practică o normă comună aferentă — m^3 (t) de cărbune extras pentru felie, în care sînt însumate cantitățile extrase, inclusiv spițuri și Paprică.

Indiferent de metoda utilizată, la minele de cărbune echipele de lucru vor plasa în vagonete mărci metalice pentru cîntărirea cantității de cărbune la gura minei, în cazul transportului cu vagonete. În cazul transportului cu benzi va fi evaluată cantitatea totală la gura minei.

Cantitatea la gura minei va fi corelată cu cantitatea livrată preparărilor (neconcordanță provenită datorită conținutului de steril).

Cu acest factor de corecție (K), specific fiecărei luni, vor fi corectate cantitățile excavate de fiecare brigadă de mineri în parte.

Zăcămintele de minereu. Problema recepției și evidenței producției realizate este foarte dificilă datorită formei neregulate și poziției în spațiu a filonului. În această situație vor fi apreciate volumele prin descompunerea golurilor rezultate în forme geometrice simple, volume ce vor fi apoi corelate cu cantitățile la gura minei. În cazul abatajelor de minereu, producția se evaluează, exclusiv, pe baza volumelor măsurate. Se urmărește în principal ridicarea topografică a conturului abatajului respectiv, contur ce se ridică, de regulă, prin metoda polară și se figurează pe harta filonului. Suprafața abatajului se planimetrează.

Mai important este de determinat linia tavanului în abatajul respectiv, linie ce se determină prin nivelment geometric cu mira așezată la tavan și care va fi raportată pe secțiunea verticală a filonului.

În aceeași secțiune se va regăsi și linia tavanului, corespunzător preluării anterioare. Volumul excavat în perioada interesată va rezulta ca produs între suprafața planimetrată a abatajului și diferența de cotă dintre cele două preluări a liniei de tavan.

Evaluarea stocului. Stocurile se pot înmagazina în depozite sau pe platforme. Volumele sau cantitățile înmagazinate în stocuri pot fi ușor identificate la preluările lunare, deoarece depozitele au linii de gradare a volumelor corespunzătoare înmagazinărilor. Pentru cazul platformelor, stocurile de substanță minerală utilă se vor constitui sub forma unor figuri geometrice și calculate corespunzător volumelor. Pentru stocuri cu formă neregulată se vor ridica planuri topografice cu curbe de nivel cu echidistanță de 0,5 sau 1 m, calculul efectuîndu-se prin metoda curbelor de nivel (metoda secțiunilor orizontale) sau prin metoda secțiunilor verticale.

4.3.5. EVALUAREA PRODUCȚIEI REALIZATE ÎN CARIERE

În cariere volumele excavate sînt mult mai mari decît în cazul exploatărilor miniere subterane. Evaluarea producției se va face și în aceste condiții la intervale indicate în cazul exploatărilor subterane.

În raport cu tipul de carieră, metoda de exploatare, posibilitățile de aplicare a metodelor de evaluare, sînt utilizate în principal: *metoda curbelor de nivel* și *metoda secțiunilor*, metode care au aplicare direct topografică.

De remarcat faptul că metoda stereofotogrammetrică terestră face apel la metoda curbelor de nivel.

Metoda curbelor de nivel. Cunoscută și sub denumirea de *metoda secțiunilor orizontale*, metoda curbelor de nivel constă, în ridicarea planului cu curbe de nivel cu echidistanța de 1 m sau 5 m, în raport cu o cotă de referință unică și stabilă, la intervale de timp de 1 de 3 sau 6 luni.

Diferența între curba de nivel la începutul intervalului și curba de nivel de aceeași cotă la sfîrșitul intervalului va contura suprafața exploatată corespunzătoare curbei de nivel. Suprafața va fi planimetrată de cel puțin două ori. Volumul excavat va fi dat de suprafața medie între două curbe consecutive înmulțită cu echidistanța (e) dintre curbele de nivel:

$$V = e \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (S_i + S_{i+1}) \quad [m^3] \quad (4.148)$$

O variantă a acestei metode, deși utilizată, este *metoda înălțimilor medii*. Metoda propune, ca și în cazul precedent, determinarea tahimetrică a unui număr suficient de puncte de conturare a suprafeței exploatate (S_i). Totodată se fac măsurători și se determină cota medie a treptei (H_{mi+1}). Cunoscînd suprafața (S_i) și cota medie (H_{mi}) a preluării anterioare, volumul rezultă din relația:

$$V_{i,i+1} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} (H_{mi} - H_{mi+1}) \quad [m^3] \quad (4.149)$$

suprafețele S_i , S_{i+1} sînt determinate prin cel puțin două planimetrări (sau dacă se cunosc coordonatele punctelor de contur pot fi determinate analitic).

Volumul total se determină prin însumarea volumelor parțiale pe trepte, făcîndu-se distincție între util și steril:

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (S_i + S_{i+1}) (H_{mi} - H_{mi+1}) \quad (4.149')$$

Metoda secțiunilor verticale. Aplicarea metodei în teren începe prin fixarea în carieră a unor profile transversale cu cariera, de preferință paralele între ele și avînd tot de preferință o echidistanță constantă e între 20—50 m. Materializarea în teren a profilelor se va face cu puncte fixe în afara zonei de exploatare stabilă, față de rețeaua topografică de sprijin a carierei.

Măsurătorile constau în determinarea tahimetrică a unor puncte caracteristice din direcția profilului în albia carierei, care vor fi raportate grafic pe secțiunile cu profilele respective.

Avînd măsurată și linia albiei din preluarea precedentă, va rezulta, pe profilul i , suprafața S_i excavată în intervalul respectiv, care va fi planimetrată de cel puțin două ori*).

Volumul excavat între două profile (i și $i + 1$) va fi:

$$V_{i,i+1} = e_{i,i+1} \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \quad [m^3] \quad (4.150)$$

Volumul total va rezulta prin însumarea volumelor dintre profile.

*) Această prevedere este impusă în special de faptul că planimetrul are o eroare admisibilă de 5%, ceea ce ar asigura o determinare acceptabilă a volumelor excavate.

4.4. STRĂPUNGERI MINIERE

Problemele miniere de străpungeri apar în cazul lucrărilor de proiectare a minelor noi sau de extindere a celor existente, ca și în mai toate fazele de lucru în subteran privind deschiderea, pregătirea și exploatarea zăcămintelor de substanțe minerale utile, oferind documentația grafo-analitică de punere în operă a elementelor proiectate.

4.4.1. STRĂPUNGerea ÎNTRE DOUĂ PUNCTE TOPOGRAFICE

Pentru proiectarea legăturii între două puncte topografice în subteran este necesar a fi cunoscute coordonatele și cotele celor două puncte. Presupunând că legătura respectivă este un preabataj, elementele topografice ce trebuiesc cunoscute sînt: rețeaua topografică planimetrică în zona respectivă și rețeaua nivelitică (fig. XV.73).

Aceste elemente vor fi: — pentru galeria 5 punctul \odot_{501} (x_{501} , y_{501}) orientarea $\theta_{501,502}$ și cota reperului nivelitic R_{n5} : H_5 .

— pentru galeria b punctul \odot_{601} (x_{601} , y_{601}), orientarea, $\theta_{601,602}$ și cota reperului nivelitic R_{n6} : H_6 . Punctele de capăt ale străpungerii se stabilesc în subteran, prin coordonatele lor. În oricare din cazuri se va face poziționarea punctelor în subteran prin măsurarea sau impunerea distanței orizontale pînă la punctele de atac. Punctele de străpungeri S_1 și S_2 vor avea coordonate:

$$\odot_{S_1} \begin{cases} x_1 = X_{501} + a \cos \theta_{501,502} \\ y_1 = Y_{501} + a \sin \theta_{501,502} \end{cases} \quad \odot_{S_2} \begin{cases} x_2 = X_{601} + b \cos \theta_{601,602} \\ y_2 = Y_{601} + b \sin \theta_{601,602} \end{cases} \quad (4.151)$$

Se stabilesc prin nivelment geometric de la mijloc cotele la vatră ale punctelor de atac ale străpungerii:

$$\begin{aligned} H_1 &= H_{R_{n5}} + l_{R_{n5}} - l_{S_1} \\ H_2 &= H_{R_{n6}} + l_{R_{n6}} - l_{S_2} \end{aligned} \quad (4.152)$$

Se calculează orientarea străpungerii θ_{12} cu una din relațiile:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta_{12} &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y_{1,2}}{\Delta x_{1,2}} \\ \operatorname{ctg} \theta_{12} &= \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{\Delta x_{1,2}}{\Delta y_{1,2}} \end{aligned} \quad (4.153)$$

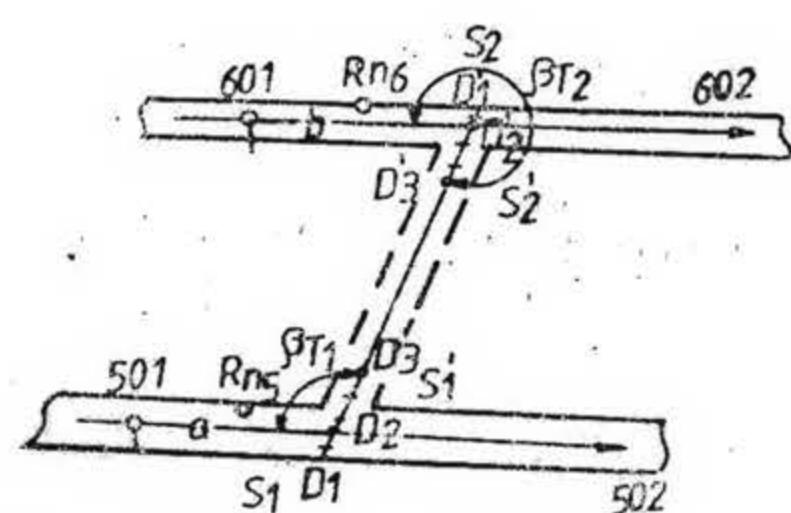


Fig. XV.73. Legătura între două puncte.

și se verifică cu una din relațiile:

$$\operatorname{tg} (\theta_{12} + 50^\circ) = \frac{\Delta x_{12} + \Delta y_{12}}{\Delta x_{12} - \Delta y_{12}} \quad (4.154)$$

$$\operatorname{ctg} (\theta_{12} + 50^\circ) = \frac{\Delta x_{12} - \Delta y_{12}}{\Delta x_{12} + \Delta y_{12}}$$

Elementele de trasare ale galeriei după direcție vor fi unghiurile de trasare β_{T_1} , β_{T_2} ce se vor măsura în punctele de atac ale străpungerii S_1 respectiv S_2 , avînd mărimile:

$$\beta_{T_1} = \theta_{12} - \theta_{502,501} \quad (4.155)$$

$$\beta_{T_2} = \theta_{21} - \theta_{602,601} \quad (4.156)$$

În cazul cînd lucrarea proiectată este plan înclinat, atunci vor fi proiectate refugii pe direcția străpungerii, prin calculul unor puncte retrase (S'_1 , S'_2) pe direcția aliniamentului, la distanțele d_1 și d_2 impuse de normele de proiectare

$$\odot_{S'_1} \begin{cases} X_{S'_1} = X_{S_1} + d'_1 \cos \theta_{12} \\ Y_{S'_1} = Y_{S_1} + d'_1 \sin \theta_{12} \\ H_{S'_1} = H_{S_1} \end{cases} \quad \odot_{S'_2} \begin{cases} X_{S'_2} = X_{S_2} + d'_2 \cos \theta_{21} \\ Y_{S'_2} = Y_{S_2} + d'_2 \sin \theta_{21} \\ H_{S'_2} = H_{S_2} \end{cases} \quad (4.157)$$

$$\odot_{S'_2} \begin{cases} X_{S'_2} = X_{S_2} + d'_2 \cos \theta_{21} \\ Y_{S'_2} = Y_{S_2} + d'_2 \sin \theta_{21} \\ H_{S'_2} = H_{S_2} \end{cases} \quad (4.158)$$

În ambele cazuri se va săpa din galerie 2—3 m, după care vor fi materializate pentru direcție cel puțin 3 fire topografice (provizorii), plasate atît în față cît și în spatele punctului de stație: D_1 , D_2 , D_3 , și D'_1 , D'_2 , D'_3 , fire cu care va fi condusă, după direcție, în continuare galeria în săpare. Din cînd în cînd se revine cu aparatul în stație și se prelungeste direcția prin plantarea altor puncte de direcție, mai aproape de frontul de lucru.

Așezarea susținerii față de direcția firului cu plumb se face la distanță a (denumită *abștig*), ce se menține constantă pe toată durata efectuării lucrării (fig. XV.74).

Totodată vor fi calculate elementele de conducere a lucrării miniere și după pantă sau după înclinarea proiectată, în baza următoarelor calcule. Diferența de nivel dintre punctele S_1 (S'_1) și S_2 (S'_2) va fi:

$$\Delta h_{12} = H_{S_2} - H_{S_1} \quad (4.159)$$

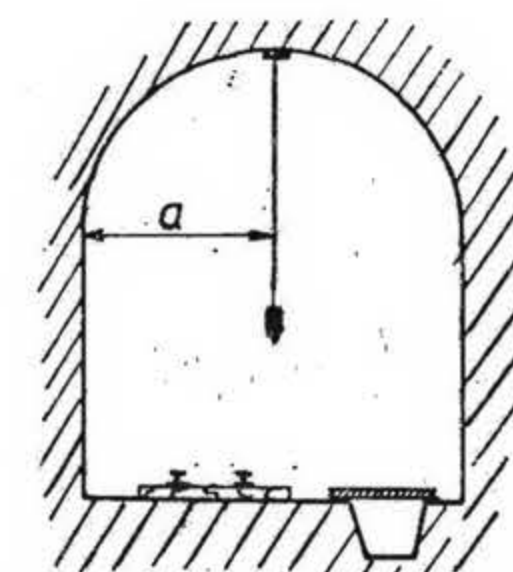


Fig. XV.74. Conducerea după direcție a lucrărilor miniere orizontale.

Lungimea reală a străpungerii:

$$l_{12} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2 + \Delta h_{12}^2} \quad (4.160)$$

Lungimea orizontală a străpungerii:

$$s_{12} = \frac{\Delta x_{12}}{\cos \theta_{12}} = \frac{\Delta y_{12}}{\sin \theta_{12}} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2} \quad (4.161)$$

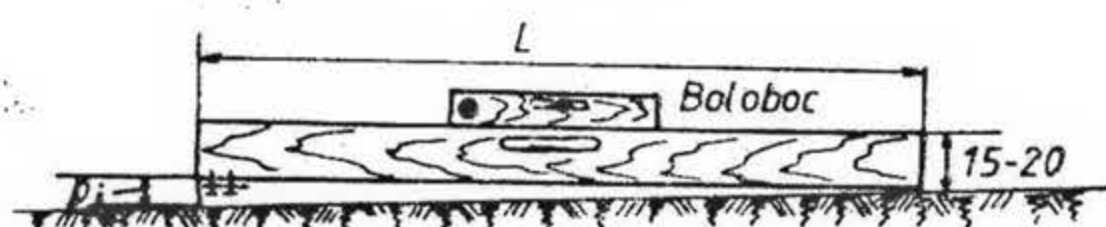


Fig. XV.75. Laț de pantă.

Panta lucrării miniere (galeriei)

$$p_{\%} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}} \cdot 100 \text{ sau } p_{0/00} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}} \cdot 1000 \quad (4.162)$$

Sau, înclinarea lucrării miniere (plan înclinat, suitoare)

$$\operatorname{tg} \varphi_{12} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}}; \quad \sin \varphi_{12} = \frac{\Delta h_{12}}{l_{12}}; \quad \cos \varphi_{12} = \frac{s_{12}}{l_{12}} \quad (4.163)$$

Pentru galerii de înclinare mică conducerea în săpare se va face cu ajutorul lațului de pantă (fig. XV.75) (din lemn) ce va avea lungimea L de 2 m sau 3 m cu un pinten metallic a cărui înălțime p_i este funcție de pantă, și un boloboc pentru orizontalizare.

$$p_i = \frac{L \cdot p_{\%}}{100} \text{ sau } p_i = \frac{L \cdot p_{0/00}}{1000} \quad (4.164)$$

Lațul de pantă se așază pe șina de cale, sau pe vatră, cu pintenul înspre frontul de lucru pentru pantă și cu pintenul în spatele frontului de lucru pentru rampă.

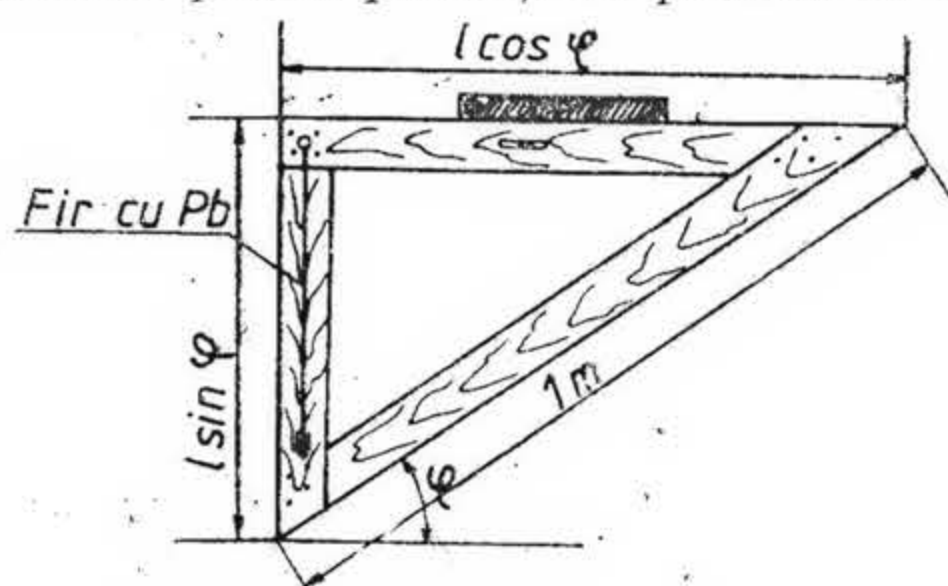


Fig. XV.76. Echer de înclinare (pantă).

Pentru planele înclinate și suitori va fi confecționat din lemn un echer de înclinare (fig. XV.76) avind o ipotenuză de 1 m. Catetele vor fi calculate corespunzător unghiului de înclinare al lucrării miniere.

Pentru utilizarea corectă a echerului de înclinare se va orizontaliza o latură cu ajutorul unui boloboc sau se va verticaliza cealaltă latură cu ajutorul unui fir cu plumb, conform fig. XV.76.

În cazul planelor înclinate, echerul de pantă se așază cu ipotenuza pe vatra lucrării miniere sau pe linia de cale, iar pentru suitori se așază direct pe armătură la vatră, controlindu-se cu el totodată perpendicularitatea granturilor.

4.4.2. RACORDAREA ALINIAMENTELOR

Este o lucrare de străpungere cu curbă circulară între două aliniamente, la care trebuie îndeplinită condiția de continuitate a traseului necesar circulației la transportul cu vagonete (fig. XV.77).

Elementul prioritar este raza curbei de racordare R impusă de: obiectul transportului, viteza de circulație, ecartament etc.

Rezolvarea racordării, din punct de vedere topografic impune:

- cunoașterea sau calculul orientării aliniamentului I $\theta_I = \theta_{501,502}$;
- cunoașterea sau calculul orientării aliniamentului II $\theta_{II} = \theta_{601,602}$;

— unghiul de vîrf ω rezultat din diferența $\omega = \theta_{II} - \theta_I$;

— tangenta curbei de racordare $t = R \operatorname{ctg} \omega$;

— calculul coordonatelor vîrfului curbei de racordare prin intersecție înainte

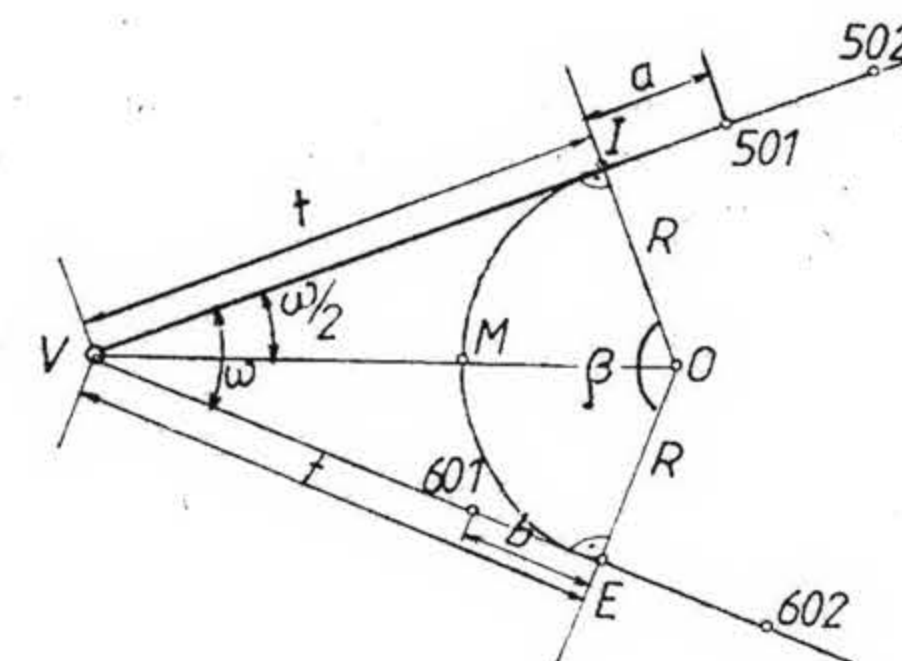


Fig. XB.77. Racordarea cu curbe circulare a aliniamentelor subterane

$$x_v = \frac{y_{601} - y_{501} + x_{501} \operatorname{tg}(\theta_I + 200^\circ) - x_{601} \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^\circ)}{\operatorname{tg}(\theta_I + 200^\circ) - \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^\circ)}$$

$$y'_v = y_{501} + (x_v - x_{501}) \operatorname{tg}(\theta_I + 200^\circ) \quad (4.165)$$

$$y''_v = y_{601} + (x_v - x_{601}) \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^\circ)$$

$$y_v = \frac{y'_v + y''_v}{2}$$

— calculul din coordonate a distanței $V-501$ și $V-601$ cu relațiile (4.161), din care se va scădea tangenta la curbă t , rezultînd (a și b), distanțele pînă la punctele de intrare respectiv ieșire din curbă:

● dacă distanța rezultă pozitiv atunci pînă la punctul de atac mai este de săpat (ex: a);

● dacă distanța rezultă negativ atunci punctul de atac se găsește în spatele ultimului punct din frontul de lucru (ex: b);

— calculul coordonatelor punctului I de intrare în curbă

$$\begin{cases} x_I = x_{501} + a \cos(\theta_I \pm 200^\circ) \\ y_I = y_{501} + a \sin(\theta_I \pm 200^\circ) \end{cases} \quad (4.166)$$

— calculul coordonatelor punctului de ieșire din curbă

$$\odot E \begin{cases} x_E = x_{601} + b \cos \theta_{II} \\ x_F = y_{601} + b \sin \theta_{II} \end{cases} \quad (4.167)$$

— calculul cotei punctelor de intrare și ieșire din curbă se face inițial prin calculul cotei la vatră a punctelor 501 și 601

Astfel:

$$\begin{aligned} H_I &= H_{501} + a \frac{p_{I0/00}}{1000} \\ H_{II} &= H_{601} + b \frac{p_{II0/00}}{1000} \end{aligned} \quad (4.168)$$

— calculul pantei pe galerie rezultată prin procedeul și relațiile (4.162);

— calculul lungimii orizontale l a curbei de racordare se face notînd:

$$\begin{aligned} \beta &= 200^g - \omega \\ l &= \frac{2\pi R}{400} (200^g - \omega) \end{aligned} \quad (4.169)$$

sau:

$$l = \frac{\pi R}{200^g} \cdot \beta$$

— calculul pantei curbei de racordare:

$$p_{0/00} = \frac{H_I - H_E}{l} 1000 \quad (4.170)$$

— calculul lungimii reale L a curbei de racordare

$$L = \sqrt{l^2 + (H_I - H_E)^2} \quad (4.171)$$

Conducerea în săpare a lucrărilor miniere curbe. Elementele de proiectare a lucrării miniere în curbă vor fi raportate pe un plan la o scară cît mai mare (1:20).

Pe același plan va fi raportat conturul pereților laterali ai galeriei conform tipului și monografiei de susținere (fig. XV.78).

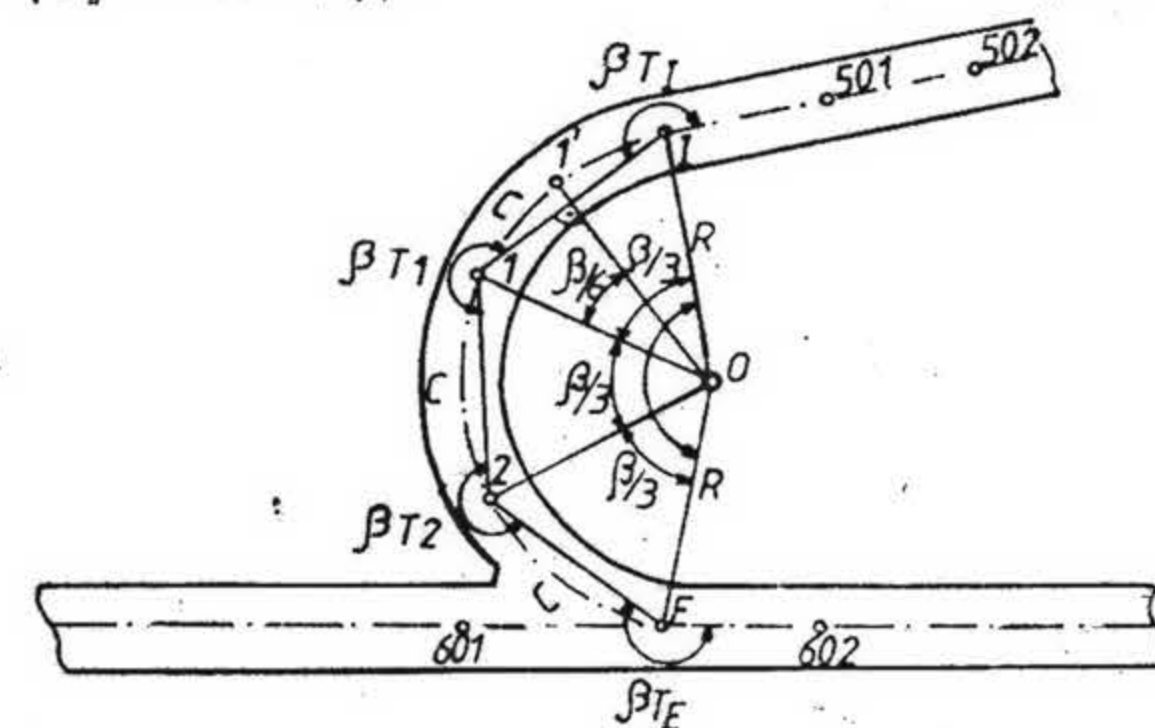
În zona ramificației, la trecerea de la galeria dreaptă la curbă, va fi trasat pînă la lățime de 0,50 m, în poziție simetrică față de cele două lucrări. Din punctul I în punctul E va trebui împărțită curba sub forma unui poligon cu laturi egale în interiorul conturului galeriei (lucru ce se realizează prin tatonare, urmărind obținerea minimului de coarde). Elementele de trasare conform figurii vor fi:

— unghiurile de trasare

$$\beta_{TI} = \beta_{TE} = 200^g + \frac{1}{2} \beta/3 \quad (4.172)$$

$$\beta_{T1} = \beta_{T2} = 200^g + \beta/3 \quad (4.173)$$

Fig. XV.78. Planul de trasare a galeriei în curbă.



— coardele de trasare

$$c = 2R \sin \frac{1}{2} \beta/3 \quad (4.174)$$

În subteran se va proceda la săparea a 2—3 m de galerie fără o conducere riguroasă, după care se va staționa cu aparatul într-un punct de stație (ex. I) și se va viza direcția coardei cu unghiul de trasare calculat (β_{TI}) direcție ce se va materializa prin cel puțin 3 fire cu plumb.

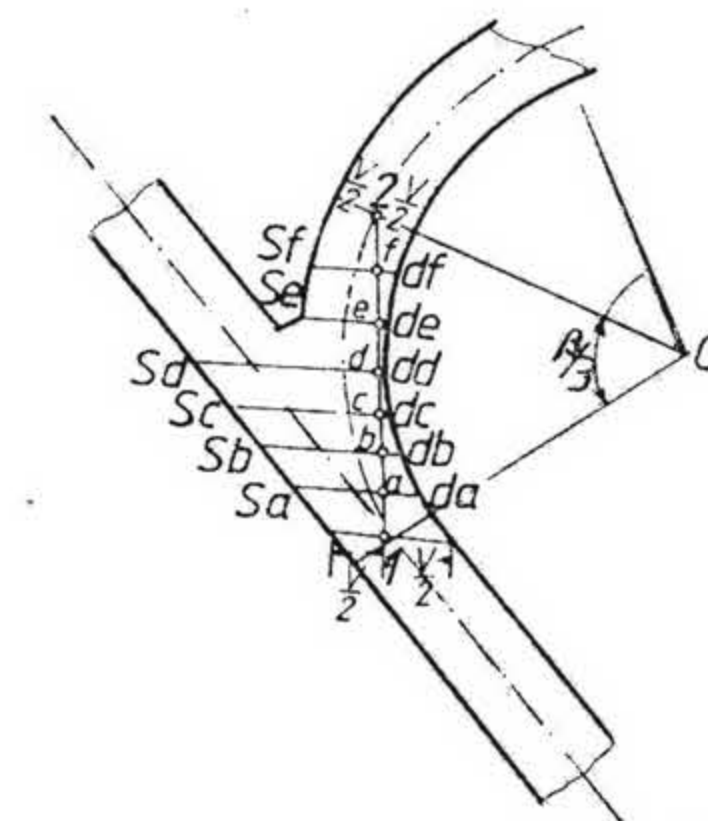
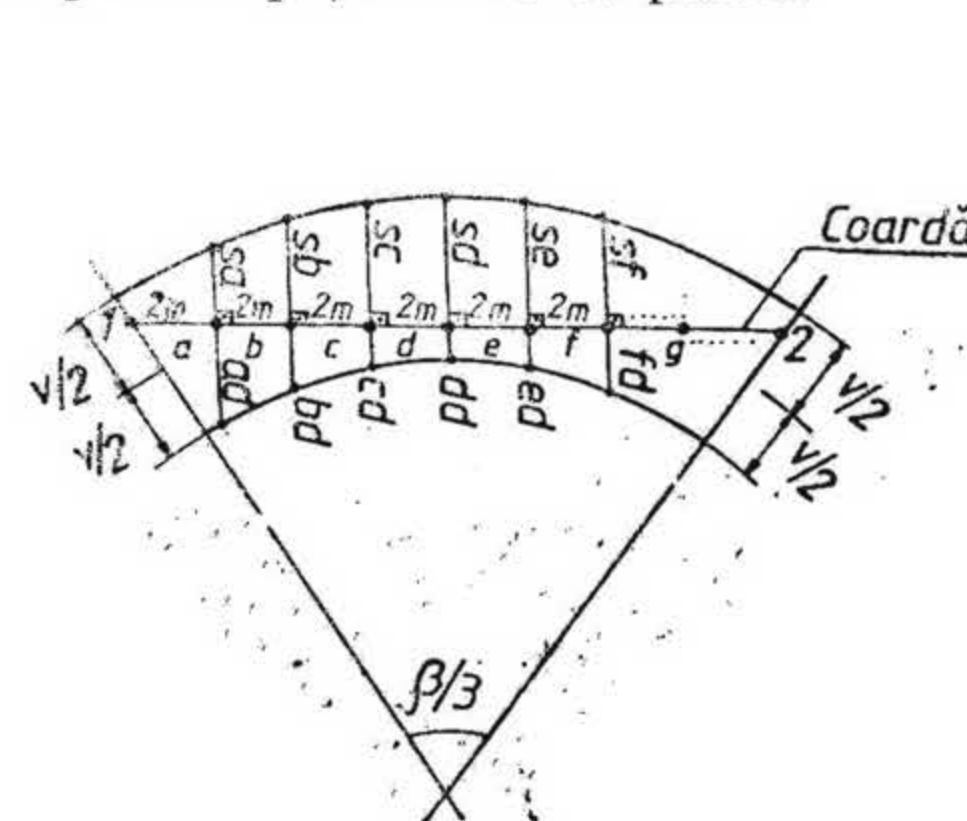


Fig. XV.79. Trasarea lucrărilor miniere curbe. Fig. XV.80. Trasarea ramificațiilor.

Așezarea în galerie a susținerii se va face față de această direcție, prin metoda coordonatelor rectangulare pe coardă. Astfel, pe un plan la o scară cît mai mare (1:20) se va raporta numai sectorul de cerc interesat cu elementele de trasare ale pereților galeriei, direcția și lungimea coardei (fig. XV.79 și 80).

Practic coarda va fi împărțită în segmente de 1 sau 2 m, la capătul cărora vor fi trasate perpendiculare. Vor fi măsurate grafic și transpuse la scară mărimile distanțelor de la coardă până la pereți, măriri ce vor fi înscrise corespunzător în afara galeriei. Modelul rămâne valabil pentru toate sectoarele identice ale galeriei curbe.

În cazul armăturilor individuale (lemn, metalice), cadrele trebuie să convergă către centrul curbei, caz în care se vor plasa grafic armăturile în mod radial, cu o distanță maximă (cîmpul mare) la peretele lateral exterior ce nu va depăși 1,00 m. Va fi calculată — sau măsurată — distanța între armături la peretele interior (cîmpul mic), în rest procedeul fiind asemănător.

În cazul ramificațiilor (fig. XV.80) procedeu este identic, adaptat la condițiile respective.

Din punct de vedere nivelitic lucrarea va fi dirijată cu ajutorul latului de pantă, confecționat și utilizat corespunzător.

4.4.3. PROBLEME DE TOPOGRAFIE MINIERĂ

Sub această denumire sînt întîlnite o serie de străpungeri miniere cu condiții inițiale ce au importante aplicații în practica minieră la proiectarea lucrărilor miniere orizontale, înclinate, verticale, probleme de minim. Aceste probleme sînt grupate astfel încît rezolvarea să fie unică pentru multe din ele, cum ar fi: intersecția lucrărilor miniere cu strate, intersecții pe strate, probleme ce se reduc la intersecții de drepte și plane în spațiu. În practica minieră, elementele de definire ce caracterizează o lucrare minieră sînt: un punct $P_1(x_1, y_1, z_1)$ de pe axa unei galerii, θ_1 orientarea axei și înclinarea φ_1 a axei. Practic elementele de definire a unei drepte sînt: $D_1[P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$.

Ecuția unei drepte ce trece printr-un punct, de direcție și înclinare, are forma:

$$(D_1) \frac{x - x_1}{\alpha_1} = \frac{y - y_1}{\beta_1} = \frac{z - z_1}{\gamma_1} = \lambda \quad (4.175)$$

unde: $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ — sînt cosinuşii directori ai dreptei, adică

$$\alpha_1 = \pm \cos \varphi_1 \cos \theta_1; \beta_1 = \pm \cos \varphi_1 \sin \theta_1 \quad (4.176); \gamma_1 = \pm \sin \varphi_1; \lambda = \text{parametru.} \quad (4.177)$$

Vectorul unitar \bar{p}_1 al dreptei D_1 , ce caracterizează direcția dreptei, are forma:

$$\bar{p}_1 = \alpha_1 \bar{i} + \beta_1 \bar{j} + \gamma_1 \bar{k} \quad (4.178)$$

unde: $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ — sînt versorii unitari corespunzători axelor x, y și z .

Considerînd în mod corespunzător o altă dreaptă D_2 , atunci unghiul ω dintre cele două drepte este dat de:

$$\cos \omega = \alpha_1 \alpha_2 + \beta_1 \beta_2 + \gamma_1 \gamma_2 \quad (4.179)$$

sau în mod corespunzător:

$$\cos \omega = \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) + \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \quad (4.180)$$

Un plan (Q) este individualizat printr-un punct $P_0(x_0, y_0, z_0)$, orientarea θ_p care este direcția orientării unei orizontale a planului și înclinarea V a planului care

este unghiul de înclinare a liniei de cea mai mare pantă. Recapitulînd, planul (Q) este dat de $[P_0(x_0, y_0, z_0), \theta_p, V]$.

Ecuția unui plan (Q) ce conține punctul $P_0(x_0, y_0, z_0)$ și este perpendicular pe o dreaptă dată (normal la plan) ai cărui cosinuşii directori sînt α, β și γ , echivalenți cu α_p, β_p , și respectiv γ_p , este dată de relația:

$$(Q) \alpha_p(x - x_0) + \beta_p(y - y_0) + \gamma_p(z - z_0) = 0 \quad (4.181)$$

în care: $\alpha_p = \pm \sin V \sin \theta_p$

$$\beta_p = \mp \sin V \cos \theta_p \quad (4.182)$$

$$\gamma_p = \cos V$$

Făcîndu-se uz de aceste cunoștințe generale, pot fi rezolvate o serie de probleme topografice miniere:

4.4.3.1. Cea mai scurtă galerie de la un punct la o altă galerie

Fie un punct cunoscut $P_2(x_2, y_2, z_2)$ de la care să se ducă cea mai scurtă galerie la o lucrare minieră cunoscută $D_1(P_1, \varphi_1, \theta_1)$.

Condiția ca dreapta să fie cea mai scurtă impune ca lucrarea proiectată să fie conținută într-un plan la care să fie normală dreapta cunoscută (D_1); fie acest plan planul (S) care conține punctul P_1 și care va avea ca normală dreapta (D_1). Ecuția planului este:

$$(S) (x - x_2) \alpha_1 + (y - y_2) \beta_1 + (z - z_2) \gamma_1 = 0 \quad (4.183)$$

unde α, β și γ — sînt cosinuşii directori ai normalei la planul (S) , respectiv ai dreptei (D_1) obținuți din relațiile (4.182);

x, y și z — sînt coordonatele punctului unde dreapta înțeapă planul sau punctul unde dreapta proiectată întîlnește galeria (D_1) cunoscută.

Scriînd ecuația dreptei conform relației (4.185) și descompunînd se obține:

$$\begin{cases} x = x_2 + \lambda \alpha_1 \\ y = y_2 + \lambda \beta_1 \\ z = z_2 + \lambda \gamma_1 \end{cases} \quad (4.184)$$

care înlocuite în ecuația planului (Q) :

$$(x_1 + \lambda \alpha_1 - x_0) \alpha_p + (y_2 + \lambda \beta_1 - y_0) \beta_p + (z_2 + \lambda \gamma_1 - z_0) \gamma_p = 0 \quad (4.185)$$

singura necunoscută fiind parametrul λ care rezultă:

$$\lambda = \frac{(x_0 - x_2) \alpha_p + (y_0 - y_2) \beta_p + (z_0 - z_2) \gamma_p}{\alpha_1 \alpha_p + \beta_1 \beta_p + \gamma_1 \gamma_p} = \frac{d}{\cos \omega} \quad (4.186)$$

Cum însă normala la plan coincide cu dreapta cunoscută (D_1), rezultă că:

$$\alpha_1 \alpha_p + \beta_1 \beta_p + \gamma_1 \gamma_p = 1$$

$$\text{deci } \cos \omega = 1; \omega = 0$$

atunci:

$\lambda = d =$ distanța pe normală dată de

$$\lambda = d = (x_0 - x_2) \alpha_p + (y_0 - y_2) \beta_p + (z_0 - z_2) \gamma_p \quad (4.187)$$

care înlocuită în ecuația dreptei (5.184) va reda mărimile coordonatelor x , y și z unde dreapta înțeapă planul, deci unde dreapta proiectată întâlnește galeria (D_1).

Cu aceste coordonate pot fi calculate

- orientarea dreptei cu relația (4.153);
- lungimea orizontală a dreptei (4.161);
- diferența de nivel între capetele lucrării proiectate (4.169);
- lungimea reală a dreptei (4.160);
- înălțimea lucrării miniere proiectate (4.163).

4.4.3.2. Intersecția dintre o galerie și un zăcămint

Geometric problema rezolvă intersecția dintre o dreaptă $D_1 [P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$ și un plan $Q [P_0(x_0, y_0, z_0), \theta_p, V]$.

Ecuația planului conform relației (5.181) este cunoscută, cosinușii directori ai planului fiind cosinușii directori ai normalei la plan (4.182).

Ecuația dreptei (D_1) este dată de (4.175), în care cosinușii directori sînt dați de (4.176). Ca dreapta să intersecteze planul, înseamnă că punctul curent al dreptei $P(x, y, z)$ verifică atât ecuația dreptei (4.175) cît și a planului (4.181). Se vor înlocui ecuațiile (4.184) în ecuația planului (4.181), rezultînd de aici mărimea parametrului λ (4.186) în care d este distanța de la punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ aparținînd dreptei și punctul de intersecție cu planul $P(x, y, z)$, deci lungimea galeriei pe dreapta D_1 ; λ reprezentînd distanța pe normală ce conține punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$, iar ω este unghiul format de galeria cunoscută și normala la plan.

Coordonatele punctului de intersecție $P(x, y, z)$ vor rezulta înlocuind parametrul λ (4.186) în sistemul de ecuații (4.184).

Modul de rezolvare a acestei probleme conduce la rezolvarea altor probleme privind condiționarea poziției acestei drepte față de plan.

Astfel, dreapta proiectată ce conține punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ trebuie să fie cea mai scurtă la zăcămint și orizontală; aceasta se exprimă astfel:

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g \quad (4.188)$$

$$\varphi_1 = 0 \quad (4.189)$$

rezultă astfel că $\gamma_1 = 0$ și ca atare:

$$\lambda = \frac{d}{\cos \omega} \quad (4.190)$$

iar

$$\omega = 100 - V; \lambda = \frac{d}{\sin V}$$

impunînd aceste condiții și verificări, procedeul rămîne același ca în cazul expus, rezultînd coordonatele punctului $P(x, y, z)$.

Sau alt caz, ca dreapta proiectată să fie cea mai scurtă la zăcămint. Aceasta înseamnă că dreapta proiectată să fie normală la zăcămint:

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g; \varphi_1 = 100 - V \quad (4.191)$$

Cosinușii directori ai dreptei sînt identici cu cosinușii directori ai planului:

$$\alpha_1 = \alpha_p; \beta_1 = \beta_p; \gamma_1 = \gamma_p$$

$$\alpha_1 \alpha_p + \beta_1 \beta_p + \gamma_1 \gamma_p = 1$$

$$\cos \omega = 1; \omega = 0$$

și atunci:

$$\lambda = (x_1 - x_0) \alpha_p + (y_1 - y_0) \beta_p + (z_1 - z_0) \gamma_p = d \quad (4.192)$$

care se înlocuiește în (4.184), rezultînd coordonatele punctului unde cea mai scurtă galerie întâlnește zăcămintul.

O altă condiție ar fi aceea ca dreapta să fie cea mai scurtă la zăcămint:

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g$$

și să aibă o înclinare φ_1 ; în aceste condiții se va rezolva ca:

$$\lambda = \frac{d}{\cos \omega}$$

și ca verificare

$$\omega = 100 - (V \pm \varphi_1)$$

Parametrul λ se calculează corespunzător relației (4.186) și se înlocuiește în (4.184), rezultînd coordonatele punctului $P(x, y, z)$, unde dreapta cea mai scurtă de înclinare φ_1 întâlnește zăcămintul.

Și în fine, dacă dreapta (D_1) se impune a fi verticală

$$\varphi_1 = 100^g$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = 0 \\ \beta_1 = 0 \\ \gamma_1 = 1 \end{cases}$$

procedeul este același, iar pentru control λ rezultat va satisface relația:

$$\lambda = \frac{d}{\cos \omega}$$

$$\omega = V$$

Coordonatele x și y sînt identice cu x_1 și respectiv y_1 , iar z se determină cu λ prin înlocuirea în (4.184). Rezultă astfel punctul unde un puț vertical ce conține punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ întâlnește zăcămintul Q în $P(x_1, y_1, z)$.

4.4.3.3. Intersecția dintre o falie și un zăcămint

Reprezentată din punct de vedere geometric intersecția dintre două plane, rezultând o linie de intersecție. Ca două plane să se intersecteze, trebuie ca ele să nu fie paralele sau să se confunde și aceasta poate fi ușor sesizat prin neegalitatea cosinuşilor directori ai normalelor la plan. În general, ecuația planului (Q) ce trece prin trei puncte $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$ și $P_3(x_3, y_3, z_3)$ are forma:

$$(Q) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ x - x_3 & y - y_3 & z - z_3 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.193)$$

unde x , y și z — sînt coordonatele curente ale planului.

Sau ecuația unui plan (Q) care trece printr-un punct $P_1(x_1, y_1, z_1)$ și este paralel la două direcții date, prin cosinuşii directori respectivi $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$; $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$,

$$(Q) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.194)$$

ori făcînd notațiile:

$$\begin{aligned} A &= \beta_1\gamma_2 - \beta_2\gamma_1 = [\beta\gamma]_{12} \\ B &= \gamma_1\alpha_2 - \gamma_2\alpha_1 = [\gamma\alpha]_{12} \\ C &= \alpha_1\beta_2 - \alpha_2\beta_1 = [\alpha\beta]_{12} \end{aligned} \quad (4.195)$$

se obține ecuația generală a planului (Q) :

$$(Q) A(x - x_1) + B(y - y_1) + C(z - z_1) = 0 \quad (4.196)$$

Sau, sub o altă formă, notînd cu:

$$D_1 = -Ax_1 - By_1 - Cz_1$$

se va obține o altă ecuație generală a planului

$$(Q) Ax + By + Cz + D = 0 \quad (4.196')$$

în care: A , B și C — sînt parametrii directori ai normalei la plan sau, ecuația normală a planului

$$(Q) (x - x_1)\alpha_p + (y - y_1)\beta_p + (z - z_1)\gamma_p = 0 \quad (4.197)$$

care s-a obținut prin împărțirea ecuației generale (4.196) cu

$$\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$$

iar rapoartele:

$$\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \alpha_p; \quad \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \beta_p; \quad \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \gamma_p \quad (4.198)$$

sînt tocmai cosinuşii directori ai normalei la plan sau cosinuşii directori ai planului (Q) .

Ecuația (4.194) mai poate fi considerată ca ecuația planului, care cuprinde o dreaptă și este paralel la o a doua dreaptă. Dacă într-adevăr punctul P_1 , prin care trece planul, se găsește pe dreapta (D_1) și această dreaptă este paralelă cu planul, înseamnă deci că se găsește cuprinsă în plan.

Scriind ecuațiile planelor sub formă generală:

$$\begin{aligned} (Q) & \begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \\ (P) \begin{cases} A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0 \end{cases} \end{cases} \end{aligned} \quad (4.199)$$

prin rezolvarea sistemului format se obține linia de intersecție a celor două plane. Pentru a se determina elementele dreptei de intersecție și anume orientarea θ_i și înclinarea φ_i , se va scrie dreapta sub forma:

$$\frac{x - x_0}{\alpha_i} = \frac{y - y_0}{\beta_i} = \frac{z - z_0}{\gamma_i} \quad (4.200)$$

În sistemul de ecuații (4.201) se observă că sînt două ecuații cu trei necunoscute, unde poate fi dată o valoare arbitrară uneia din necunoscute, exemplu $(z = z_0)$ rezultînd apoi celelalte necunoscute: $(x = x_0)$ și $(y = y_0)$, deduse din calcul. Analizînd determinanții minori din:

$$\begin{pmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 & D_2 \end{pmatrix} \quad (4.201)$$

se poate concluda pentru care necunoscută se poate lua valoarea arbitrară.

Procedînd așa cum s-a arătat, va rezulta $P_0(x_0, y_0, z_0)$ care va fi comun atît planelor (Q) și (P) cît și liniei de intersecție (D_0) . Alegînd o altă valoare arbitrară a necunoscutei z , va rezulta un punct $P_3(x_3, y_3, z_3)$ care va fi de asemenea comun, atît planelor (Q) și (P) cît și dreptei (D_0) . Elementele dreptei (D_0) vor fi deduse cu relațiile (4.153), (4.159), (4.160), (4.161), (4.163).

În altă ordine de idei, după găsirea punctului $P_0(x_0, y_0, z_0)$ pot fi scrise ecuațiile planelor (Q) și (P) ce conțin punctul comun P_0 .

$$(Q) (x - x_0)A_1 + (y - y_0)B_1 + (z - z_0)C_1 = 0 \quad (4.202)$$

$$(P) (x - x_0)A_2 + (y - y_0)B_2 + (z - z_0)C_2 = 0$$

Și aceste două ecuații reprezintă linia de intersecție.

Dacă se împarte sistemul cu $(z - z_0)$ și se rezolvă în raport cu:

$$\frac{x - x_0}{z - z_0} \text{ și } \frac{y - y_0}{z - z_0}$$

se obține:

$$\frac{x - x_0}{z - z_0} = \frac{D_1}{D_3}; \quad \frac{y - y_0}{z - z_0} = \frac{D_2}{D_3} \quad (4.203)$$

unde D_1 , D_2 , D_3 — sînt determinanții minori.

Din (4.203) rezultă:

$$\frac{x - x_0}{D_1} = \frac{y - y_0}{D_2} = \frac{z - z_0}{D_3} \quad (4.204)$$

deci dreapta de intersecție a fost pusă sub forma caracteristică, cu deosebirea că D_1 , D_2 și D_3 sînt parametrii directori ai dreptei.

Pentru a obține cosinuzii directori ai drepte, trebuie să existe:

$$\alpha_1 = \frac{D_1}{D}; \beta_1 = \frac{D_2}{D}; \gamma_1 = \frac{D_3}{D} \quad (4.205)$$

unde:

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2} \quad (4.206)$$

Ținînd seama de:

$$\alpha_i = \pm \cos \varphi_i \cos \theta_i; \beta_i = \pm \cos \varphi_i \sin \theta_i; \gamma_i = \sin \varphi_i \quad (4.207)$$

rezultă elementele de definire ale drepte de intersecție

$$\operatorname{tg} \theta_i = \frac{\beta_i}{\alpha_i} = \frac{D_2}{D_1} \text{ rezultă } \theta_i \quad (4.208)$$

sau

$$\sin \varphi_i = \gamma_i$$

și

$$\cos \varphi_i = \sqrt{\alpha_i^2 + \beta_i^2} \text{ rezultă } \varphi_i \quad (4.209)$$

4.4.3.4. Lucrare minieră de legătură dintre două galerii cunoscute

Cunoscînd galeria $D_1[P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$ și galeria $D_2[P_2(x_2, y_2, z_2), \theta_2, \varphi_2]$ se urmărește determinarea celei mai scurte galerii MN , adică perpendiculara comună prin identificarea coordonatelor (x_M, y_M, z_M) ale punctului M ce se găsește pe galeria D_1 și coordonatele punctului $N(x_N, y_N, z_N)$ ce se găsește pe galeria D_2 .

Ecuatia planului Q care conține dreapta D_1 ale cărei cosinuzi directori (4.176) sînt $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$, și paralel cu dreapta D_2 ale cărei cosinuzi directori (4.176) sînt $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ este:

$$(Q) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.210)$$

Ecuatia planului P ce conține dreapta D_2 și este paralel la dreapta D_1 va fi:

$$(P) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.211)$$

Este evident că planele (Q) și (P) sînt paralele, ca atare dreapta căutată MN va fi perpendiculara comună, care deocamdată va fi identificată prin intersecția a două plane: R (care cuprinde dreapta (D_1) și este perpendicular pe planul Q) și S (care cuprinde dreapta (D_2) și este perpendicular pe planul Q) și totodată și pe P .

Ecuatiile celor două plane vor fi:

$$(R) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ [\beta\gamma]_{12} & [\gamma\alpha]_{12} & [\alpha\beta]_{12} \end{vmatrix} = 0 \quad (4.212)$$

$$(S) \begin{vmatrix} x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ [\beta\gamma]_{12} & [\gamma\alpha]_{12} & [\alpha\beta]_{12} \end{vmatrix} = 0 \quad (4.213)$$

sumele simbolice din $[]$ sînt cele din formula (4.195).

Intersecția planului (R) cu planul (S) este tocmai dreapta căutată care, intersectată cu planul (Q) , definește punctul M , iar intersectată cu planul P definește punctul N . Așadar, prin rezolvarea sistemului de ecuații $(R) = 0$, $(S) = 0$ și $(Q) = 0$ rezultă coordonatele x_M, y_M, z_M caracterizînd punctul M , iar din rezolvarea sistemului de ecuații $(R) = 0$, $(S) = 0$ și $(P) = 0$ se definesc coordonatele x_N, y_N, z_N ale punctului N .

Cu aceste coordonate se definesc toate elementele dreptei MN folosind relațiile (4.153), (4.159), (4.160), (4.161) și (4.163).

4.5. STUDIUL COMPORTĂRII SUPRAFETEI SUB INFLUENȚA SPAȚIULUI SUBTERAN EXPLOATAT

În urma exploatării în subteran a zăcămintelor de substanțe minerale utile, se creează goluri, determinînd o schimbare în echilibrul tensiunilor din rocile înconjurătoare. Reechilibrarea acestor tensiuni determină o serie de mișcări în rocile înconjurătoare, mișcări ce se resimt pînă la suprafața zonei respective.

Studiul acestor influențe este necesar pentru punerea în evidență și luarea măsurilor corespunzătoare privind protecția construcțiilor și a apelor ce pot inunda subteranul. Rezultatele studiilor pot fi totodată utilizate în prognozarea influenței la suprafață a spațiului subteran exploatat, în bazine miniere asemănătoare cu cele deja studiate.

4.5.1. CONSTITUIREA STAȚIILOR TOPOGRAFICE DE URMĂRIRE

Stațiile topografice de urmărire a deplasării suprafeței sub influența spațiului subteran exploatat sînt constituite din alinamente longitudinale și transversale de urmărire.

Lungimea alinamentelor este funcție de poziția, grosimea, adîncimea și extinderea zăcămintelor subterane.

Pentru aliniamentele transversale, lungimea unui aliniament se stabilește prin întocmirea unei secțiuni (fig. XV.81) suprafață-subteran transversale pe zăcămint, pe care vor fi măsurate grafic H_A , H_B , H_C , L_E .

Lungimea aliniamentului transversal este dată de:

$$L_{tr} = 30 \text{ m} + (0,35 \text{ ctg } \beta_0) H_A + l_{ET} \cos \alpha + (\text{ctg } \beta_0 + 0,25) H_B + 30 \text{ m}$$

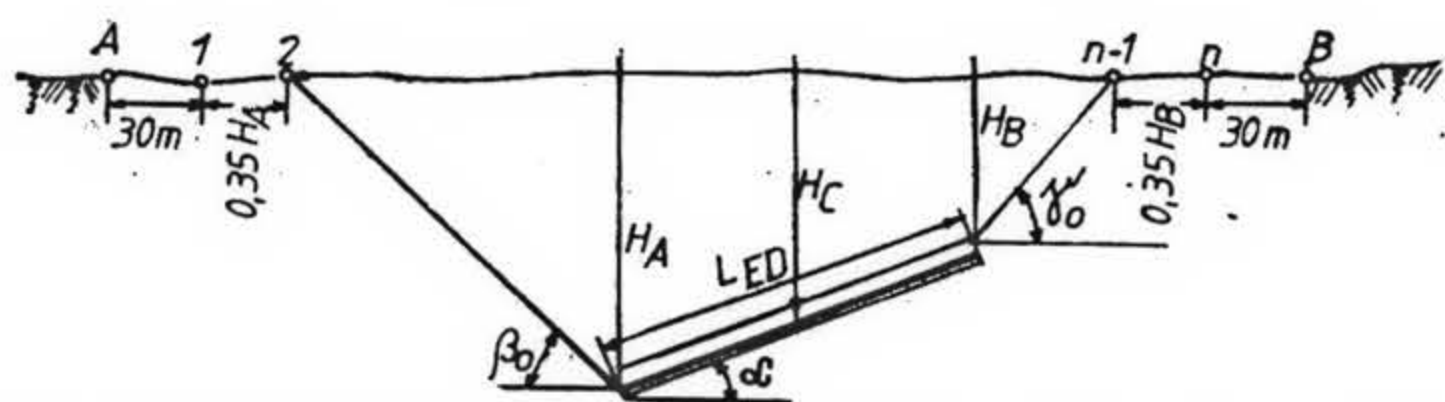


Fig. XV.81. Proiectarea lungimilor aliniamentelor de urmărire.

în care: L este înclinarea stratului

$$\begin{aligned} \beta_0 &= \beta - 18^\circ + 1,5\alpha \\ \gamma_0 &= \gamma - 15^\circ \end{aligned} \quad (4.214)$$

Valorile unghiurilor β , γ și δ au fost stabilite experimental la zăcămintele asemănătoare.

Lungimea aliniamentului direcțional se determină cu relația:

$$L_d = 2[30 \text{ m} + (0,25 + \text{ctg } \gamma_0) H_C + 0,5 L_{ED}] \quad (4.215)$$

în care L_{ED} este lungimea direcțională de exploatare.

Capetele aliniamentului vor fi considerate ca puncte de sprijin și vor fi bornate. Punctele curente din fiecare aliniament vor fi amplasate la o distanță de aproximativ 20 m, marcate prin șini metalice de cîte 1 m, bătute în sol la nivelul suprafeței. Poziția inițială de interdistanță (20 m) va fi marcată prin chernăruire. Trasarea stației va fi făcută conform secțiunii transversale și longitudinale, care va consta în coliniaritatea reperelor și a chernăruirilor.

După o perioadă de timp, vor începe operațiile de măsurare bianuală, în care prima măsurătoare va fi considerată măsurătoare „zero” cu elementele înscrise în tabelul XV.5.

Tabelul XV.5

Măsurătoarea „zero”

Cotă punct i	Punct		Dist. oriz. $D_{0,i,i+1}^*$
	i	$i+1$	
100 000	A	1	26,913
86,250	1	2	20,580
80,608	2	3	20,370
⋮	⋮	⋮	⋮

4.5.2. EFECTUAREA MĂSURĂTORILOR

Se vor efectua simultan trei categorii de măsurători topografice și anume:

— măsurarea diferenței de nivel dintre repere pe două trasee, prin nivelment geometric de la mijloc de mare precizie — neînchiderea admisă $\pm 1 \text{ mm}$ între cele două trasee, (aparat Koni 007, eroare $\pm 0,005 \text{ mm/observație}$);

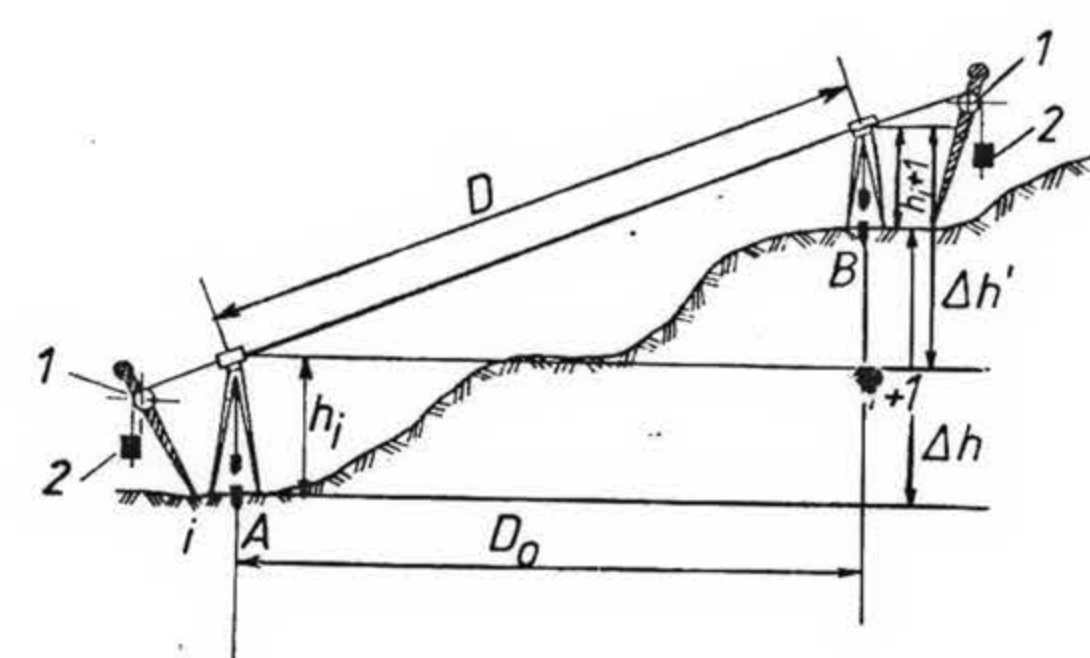


Fig. XV.82. Măsurarea lungimilor:

1 — scripete; 2 — greutate de 10 daN.

— măsurarea distanțelor în mod direct, prin serii de 5 observații, cu origini schimbate, folosind o ruletă întinsă pe scripete cu greutăți calibrate de 10 daN. Punctele sînt semnalizate cu trepiede centrate cu dispozitive adecvate și bastoane de măsurat înălțimea (... h_i , h_{i+1} , ...) (fig. XV.82);

— măsurarea abaterii transversale cu ajutorul unui odontometru cu panou așezat pe ambaza teodolitului, citirile efectuîndu-se pe rigla odontometrului.

Prelucrarea măsurărilor constă în următoarele:

— se calculează diferența de nivel $\Delta h_{i,i+1}$ dintre repere, nefiind admisă o diferență între cele două observații pe trasee pe $\pm 1 \text{ mm}$;

— se calculează media aritmetică a celor 5 observații pentru distanța pe înclinare $D_{i,i+1}$, nefiind admisă o diferență mai mare de $\pm 5 \text{ mm}$ între două măsurători din seria de 5 observații;

— se calculează diferența de nivel h' pe trepiede, cu ajutorul relației:

$$\Delta h'_{i,i+1} = \Delta h_{i,i+1} - h_i + h_{i+1} \quad (4.216)$$

în care $h_{i,i+1}$ se introduce cu semnul respectiv + pentru creșterea diferenței de nivel și - pentru scăderea diferenței de nivel.

Distanța redusă la orizontală D_0 va rezulta din relația:

$$D_{0i,i+1} = \sqrt{D_{i,i+1}^2 - \Delta h_{i,i+1}^2} \quad (4.217)$$

Tabelul XV.6

Prelucrarea mărimilor măsurate

Cota i	Puncte		Δh	h_i	h_{i+1}	$\Delta h'$	D	D_0	Distanță cumulată
	i	$i+1$							
1000,000	A	1	-13,760	1,042	1,200	-13,602	30,050	26,795	26,795
86,240	1	2	-5,639	1,200	0,982	-5,851	21,650	20,843	47,638
80,601	2	3	-3,366	0,982	1,297	-3,051	20,619	20,392	68,030
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Toate aceste calcule vor fi efectuate într-un tabel de forma tabelului XV.6. Rezultatele acestor calcule vor fi înscrise într-un tabel (tabelul XV.7).

Tabelul XV.7

Fișa aliniamentului

Parametri		Picheți		A	1	2	3	4	
Determinarea aprilie 1979	1	Distanțe orizontale	m		26,795	20,843	20,392	19,998	
	2	Distanțe cumulate	m		26,795	47,638	68,030		
	3	Nivelul reperului	m	100,000	86,240	80,601	77,235		
	4	Diferențe de nivel	m		-13,760	-5,639	-3,366		
	5	Abateri transvers.	m		0	-1	-3		

4.5.3. INTERPRETAREA REZULTATELOR MĂSURĂTORILOR

Constă în stabilirea unor parametri conform următoarelor definiții.

Scufundarea suprafeței (S_i) este coborîrea nivelului suprafeței zonei respective, în raport cu nivelul inițial al aceleiași zone, după relația:

$$S_i = H_i^* - H_i \text{ [mm]} \quad (4.218)$$

în care: H_i^* este cota punctului la măsurarea zero; H_i — cota curentă a reperului la un moment dat.

Se consideră că un reper de observație este stabil, din punct de vedere nivelitic dacă scufundarea finală este mai mică de 20 mm (triplul erorii de măsurare) pe punct și că mișcarea de scufundare a încetat, dacă între ultimele trei măsurători de nivelment efectuate la intervale de cel puțin 3 luni, scufundarea este mai mică de 20 mm.

Înclinarea suprafeței (I_i) este înclinarea unei zone de la suprafață față de poziția sa inițială; se determină prin raportul dintre diferențele scufundărilor a două repere consecutive de observație și distanța orizontală dintre acestea, cu relația:

$$I_i = \frac{S_{i+1} - S_i}{d_{oi,i+1}} \text{ [mm/m]} \quad (4.219)$$

în care: S_i este scufundarea unui reper; S_{i+1} — scufundarea reperului următor; $d_{oi,i+1}$ — distanța orizontală dintre cele două repere.

Înclinarea este o deformare a suprafeței datorită scufundării și nu are nimic comun cu înclinarea fizică a suprafeței terenului.

Deplasarea orizontală (D_i^0) este deplasarea în plan orizontal a unui punct material situat în zona de influență a exploatarei. Se determină prin diferența dintre depărtarea creată și cea inițială cu relația:

$$D_i^0 = D_i^* - D_i \quad (4.220)$$

în care: D_i^* este distanța orizontală dintre cele două repere la măsurătoarea zero; D_i — distanța orizontală dintre repere la măsurarea curentă.

Deformația orizontală (ε_i) este definită ca alungirea (+) sau scufundarea (-) specifică a unei porțiuni de suprafață cuprinsă între două repere de observație, față de distanța orizontală inițială dintre acestea. Sint de fapt întinderile și compresiunile de-a lungul aliniamentului de observație și se calculează cu relația:

$$\varepsilon_i = \frac{D_i^0}{D_i^*} \text{ [mm/m]} \quad (4.221)$$

în care: D_i^0 este deplasarea orizontală a reperului respectiv; D_i^* — distanța orizontală dintre cele două repere la măsurătoarea zero.

Raza de curbura (R_i) este definită ca fiind raza cercului osculator, al curbei dusă prin trei puncte ale acestora și se determină cu relația:

$$R_i = \frac{D_{i,i+2}}{I_{i+1} - I_i} \text{ [km]} \quad (4.222)$$

în care: $D_{i,i+2}$ este distanța între trei puncte consecutive în care punctul i este punctul curent; I_i — înclinarea în punctul curent; I_{i+1} — înclinarea în punctul de mijloc a distanței studiate.

Curbura suprafeței (C) este definită ca limita raportului dintre unghiul de convergență al tangentelor în punctele învecinate și distanța dintre acestea. De fapt este inversă razei de curbura:

$$C_i = \frac{1}{R_i} \text{ [(km}^{-1}\text{)]} \quad (4.223)$$

Toți acești parametri vor fi calculați în tabele adecvate (tabelul XV.8).

Se întocmesc în continuare grafice separate pentru fiecare parametru în parte.

Întreg acest studiu va avea o *Fișă sintetică* în care vor fi trecute cele mai importante caracteristici de constituire și urmărire a evoluției parametrilor. Conținutul fișei

va cuprinde : denumirea stației de urmărire, stratul, blocul, exploatarea minieră, grosimea normală a stratului, înclinarea și configurația suprafeței, adâncimi medii, maxime și minime de exploatare, prezența altor strate în acoperiș, a altor exploatări trecute și prezente, numărul total de puncte de aliniament (separat pe transversal și direcțional), numărul de aliniamente, datele efectuării observațiilor, metoda de exploatare, metoda de dirijare a acoperișului, lungimea cîmpului de abataj, lungimea liniei de frot, lungimea

Tabelul XV.8

Parametrii preluării de observații

Pct.	S_i [mm]	$S_{i+1} - S_i$ [mm]	$I_i = \frac{S_{i+1} - S_i}{d_{i,i+1}}$ [mm/m]	$D_{i+1} - I_i$	$D_{i,i+2}$	$R_{i+1} = \frac{D_{i,i+2}}{I_{i+1} I_i}$ [m/mm]	$C_{i+1} = \frac{1}{R_{i+1}}$	D_i [mm]	$\epsilon_i = \frac{D_i^0}{D_i^*}$
A	0	+10	0,373204	-0,517137	47,638	-92,118	-0,010855	118	+4,4038
1	+10	-3	-0,143933	0,585283	41,235	70,453	0,014938	-263	-11,3227
2	+7	+9	0,44135	-0,76363	39,200	-51,554	0,01939	-18	-0,8826
...

critică a cîmpului de abataj, lungimea critică a liniei de front, rezultatele evoluției parametrilor : S_{max} , I_{max} , D_{max} , ϵ_{max} , R_{max} . Fișa sintetică va conține, de asemenea, unghiurile limită de scufundare (direcțional, în aval și în amonte), unghiurile scufundării maxime, unghiurile de deformății maxime, unghiurile de rupere vizibilă a suprafeței (direcțional, în aval și în amonte).

În final vor fi determinate viteza maximă de scufundare a suprafeței (mm/lună), timpul necesar realizării scufundării maxime (luni), mărimea zonei de exploatare în momentul realizării scufundării maxime, absolute, viteza medie de exploatare (m/lună). Studiul va fi utilizat la dimensionarea și redimensionarea pilierilor de siguranță din zone și bazine miniere asemănătoare cu cea studiată pentru protejarea construcțiilor de la suprafață și protecția subteranului minei.

5. FOTOGRAMMETRIE TERESTRĂ

5.1. DEFINIȚIA ȘI SCOPUL FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Fotogrammetria aparține tehnicilor de măsurare ce își propune să studieze și să definească cu precizie forma, dimensiunile și poziția în spațiu a obiectelor, utilizând în esență măsurători efectuate pe una sau mai multe fotografii ale obiectului.

Avantajele acestei tehnici utilizate în măsurători reies mai ales din caracteristicile imaginilor fotografice :

- dă obiectului o imagine completă, fără posibilități de omisie a detaliilor, foarte amănunțită, continuă și de o mare precizie ;
- informațiile conținute pe imagine se obțin în același moment și au o valoare mare de documentare pentru o anumită stare a obiectului ;
- ca document se manipulează ușor, conservarea fiind practic nelimitată și este disponibil în orice moment pentru control, cercetări ulterioare ;
- poate fi fotografiat orice obiect solid, lichid, mic sau extrem de mare, staționabil sau deformabil în timp, lent sau rapid.

Toate aceste proprietăți arată că fotogrammetria furnizează procedee de măsură și studiu de o mare fidelitate, mai ușor de folosit, mai rapide decât procedeele de măsurare directă.

Procedeele fotogrammetrice se aplică fără dificultate în cazuri în care alte procedee sînt inutilizabile (obiecte inaccesibile, în mișcare, rapide) sau s-ar utiliza cu un randament mic.

Fotogrammetria poate fi : *terestră* sau *aeriană*.

Fotogrammetria terestră se ocupă cu întregul proces, începînd cu preluările fotografice din stații fixe de pe suprafața terestră pînă la reprezentarea lui sub formă analogică sau digitală (model numeric). Prin posibilitatea ei remarcabilă de a înmagazina informații și de a permite măsurători de precizie, se folosește cu foarte mult succes în diferite domenii tehnice dintre care pot fi citate : topografia, industria minieră la suprafață și în subteran, geologie și geotehnic, trasări și deformății ale construcțiilor, alunecări și scufundări de terenuri, urmărirea comportării utilajelor grele în funcționare etc.

Pentru fiecare domeniu de aplicare intervine o caracteristică a condițiilor de efectuare a măsurătorilor.

5.2. BAZA GEOMETRICĂ A FOTOGRAAMELOR

5.2.1. FOTOGRAMA CA PROIECȚIE CENTRALĂ

Imaginea fotografică pe care se efectuează măsurătorile în vederea determinării formei și poziției obiectelor în spațiu se numește *fotogramă* ; din punct de vedere geometric este o proiecție centrală.

Practic, fotograma este obținută cu ajutorul obiectivului fotogrammetric ce are rol de *centru de proiecție* și o poziție bine determinată în spațiu, atît față de obiect cît și de planul pe care se formează imaginea. Razele de proiecție, ce pleacă de la punctele $A, B, C \dots$ din spațiul real și trec prin centrul de proiecție O , formează pe planul imagine punctele imagine $a, b, c \dots$, realizînd astfel o corespondență între punctele corespondente (fig. XV.83). Unui punct imagine a din planul fotogramei pot să-i corespundă însă o

infinitate de puncte din spațiul real A_1, A_2, \dots, A_n . Această corespondență nu mai este univocă. Deci proiecția centrală plană nu este o corespondență biunivocă între punctele spațiului real și imaginile lor pe planul imagine numai în cazuri bine determinate.

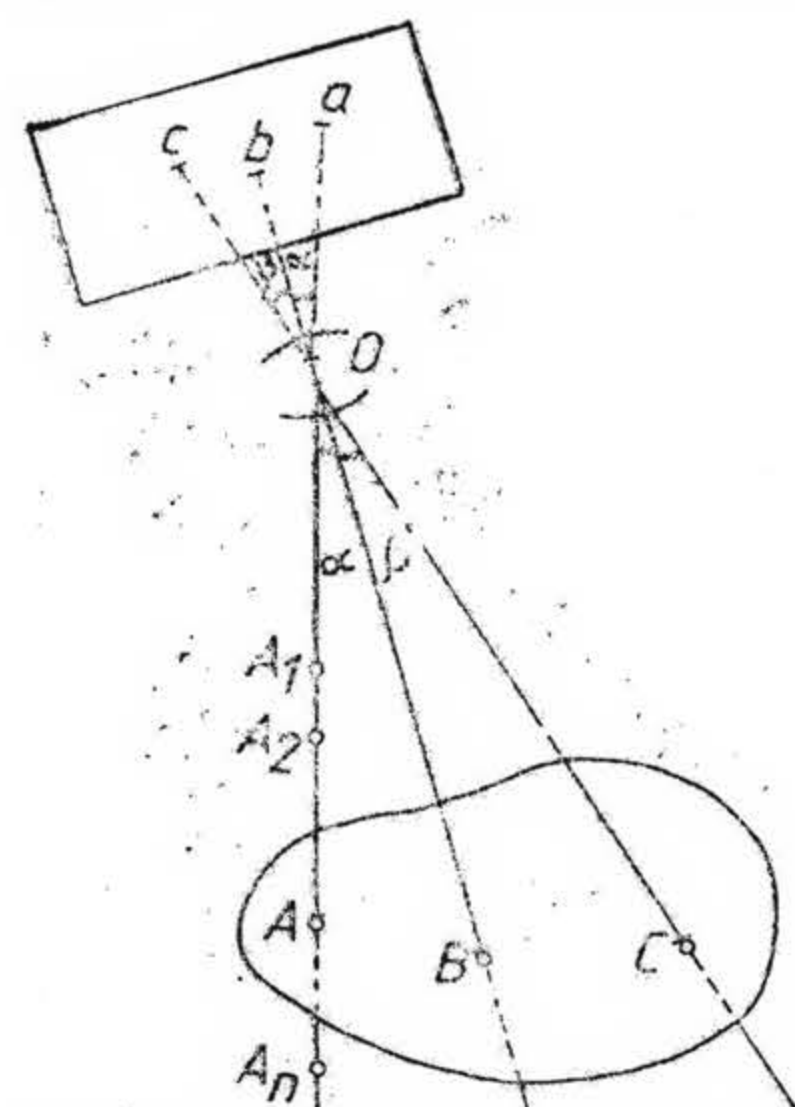


Fig. XV.83. Fotograma ca proiecție centrală.

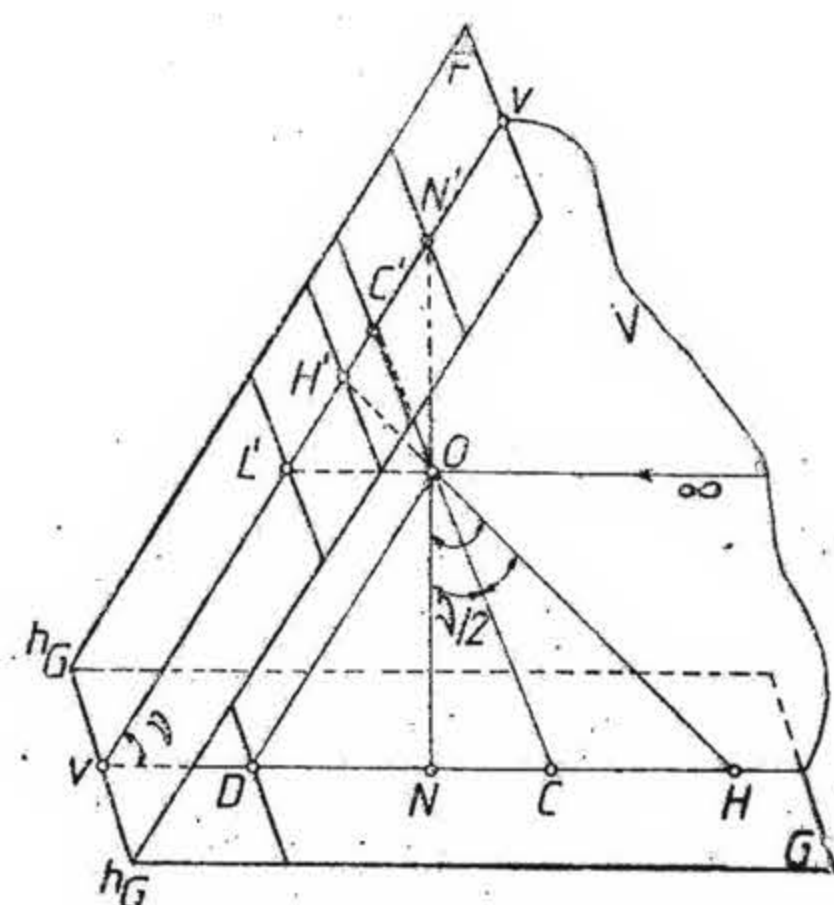


Fig. XV.84. Elementele proiecției centrale.

5.2.2. ELEMENTELE PROIECȚIEI CENTRALE

În figura XV.84 sînt date elementele de bază ale proiecției centrale, ce stabilesc geometric legătura dintre punctele spațiului real și imaginile lor pe perspectiva centrală plană. Astfel:

G este planul geometralului (al terenului), plan orizontal pe care se face proiecția ortogonală a suprafeței terestre;

F — planul imaginii (fotograma);

O — centrul de proiecție (centrul obiectivului fotogrammetric);

V — planul vertical principal (plan vertical ce trece prin O și este perpendicular pe G și F);

vv — verticală principală — intersecția dintre planul vertical principal V și planul imagine F ;

v — unghiul nadiral (înclinarea planului fotogramei față de geometral);

h_G — h_G — orizontală principală (linia de pămînt), linia de intersecție a planului geometralului și al fotogramei. Fiind dreaptă comună între două plane orizontale, paralele cu ea din planul geometralului, își vor forma imaginea tot paralel cu ea pe planul imagine;

H' — punct principal — punctul de intersecție al perpendicularei din O pe planul imagine;

OH' — distanța principală (focală) în cazul obiectivelor fotogrammetrice;

N' — punct nadiral — intersecția verticalei din O cu planul imagine;

N — punct nadir — intersecția verticalei din O cu planul geometralului;

ON — distanța nadirală — înălțimea centrului de proiecție față de geometral;

L' — punct principal de fugă — punctul unde direcția ce trece prin centrul de proiecție O și este paralelă la planul geometralului întâlnește planul imagine. Este punctul caracteristic cu ajutorul căruia se proiectează central dreptele conținute în planul geometralului;

C' — izocentru sau metacentru — intersecția bisectoarei unghiului v și planul fotogramei. Acest punct se numește *punctul deformațiilor nule* deoarece direcțiile ce se sprijină pe el în planul geometralului se proiectează după direcții paralele cu ele pe planul imagine, de asemenea, scara pe toate direcțiile ce trec prin acest punct are o valoare constantă.

Punctele H' , N' , L' și C' se află toate pe verticala principală. Distanțele între aceste puncte se determină cu ajutorul relațiilor:

$$H'N' = f \operatorname{tg} v; \quad H'C' = f \operatorname{tg} \frac{v}{2}; \quad H'L' = \frac{f}{\operatorname{tg} v}; \quad (5.1)$$

$$ON' = \frac{f}{\cos v}; \quad OL' = \frac{f}{\cos v}; \quad OC' = \frac{f}{\cos \frac{v}{2}}; \quad L'N' = \frac{2f}{2 \sin 2v}$$

Dacă planul fotogramei este vertical ($v = 90^\circ$) sîntem în cazul fotogrammetriei terestre. În acest caz:

$$OH' = OL' = H'C' = f \quad (\text{punctul } L' = N') \quad (5.2)$$

$$H'N' = ON' = L'N' = \infty \quad (N' = \infty)$$

$$OC' = f\sqrt{2}$$

5.2.3. SISTEME DE COORDONATE UTILIZATE ÎN FOTOGRAMMETRIE

Pentru stabilirea relațiilor între proiecție și obiectul real se vor considera sisteme de coordonate convențional alese, în care se pot ordona punctele imagine, respectiv punctele reale (ale obiectului) (fig. XV.85). Sistemele de coordonate sînt astfel definite încît corespund indicațiilor internaționale.

a) Sistemul de coordonate fotogrammetrice este un sistem rectangular plan, cu originea în punctul principal H' , axele sistemului sînt definite de direcțiile ce unesc indici de referință ai fotogramei. Pentru fotogrammetria terestră aceste axe sînt x' , z' .

b) Sistemul de coordonate (spațial (X, Y, Z)) cu originea în centrul de proiecție. Direcția axei Z este verticală, iar axa Y corespunde cu direcția de fotografiere în foto-

grammetria terestră. Axa X este perpendiculară pe Y și paralelă cu axa x' a planului imagine.

c) Sistemul de coordonate geodezic $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$ este definit, de asemenea, în spațiul real și este adoptat la nivelul țării sau local de unitatea topografică respectivă.

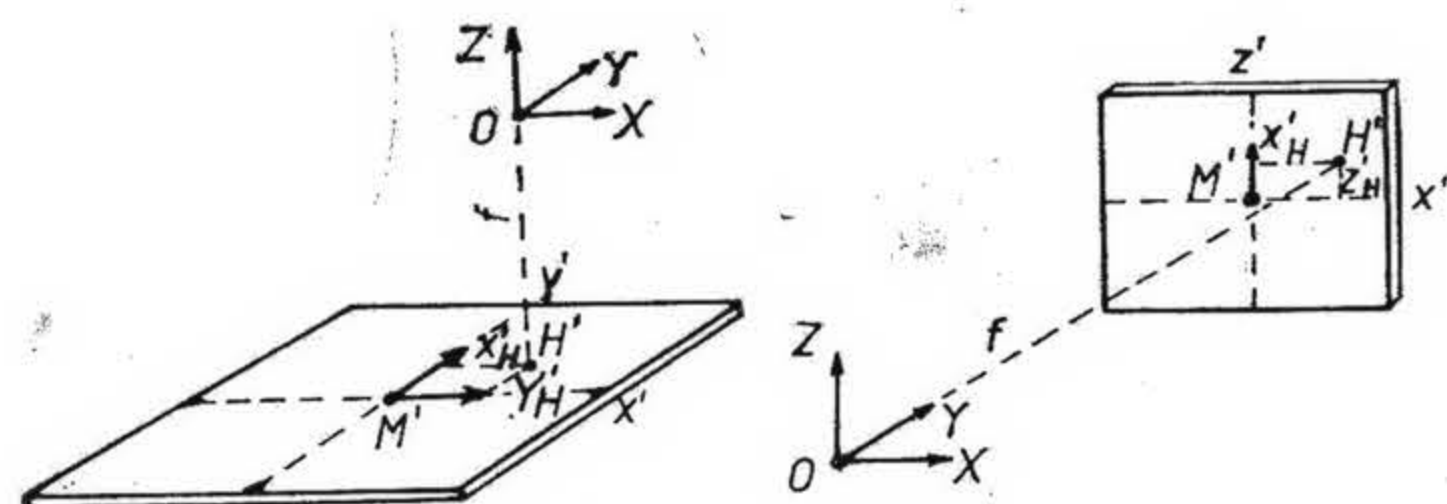


Fig. XV. 85. Sisteme de coordonate.

5.2.4. ELEMENTELE DE ORIENTARE A FOTOGRAAMELOR

Elementele de orientare ale fotogramelor stabilesc corespondența biunivocă între punctele spațiului real și imaginile lor pe planul fotogramei. Cu ajutorul lor poate fi reconstituită poziția fotogramei în momentul fotografierii. Aceste elemente se împart în: *elemente de orientare interioară* și *elemente de orientare exterioară*.

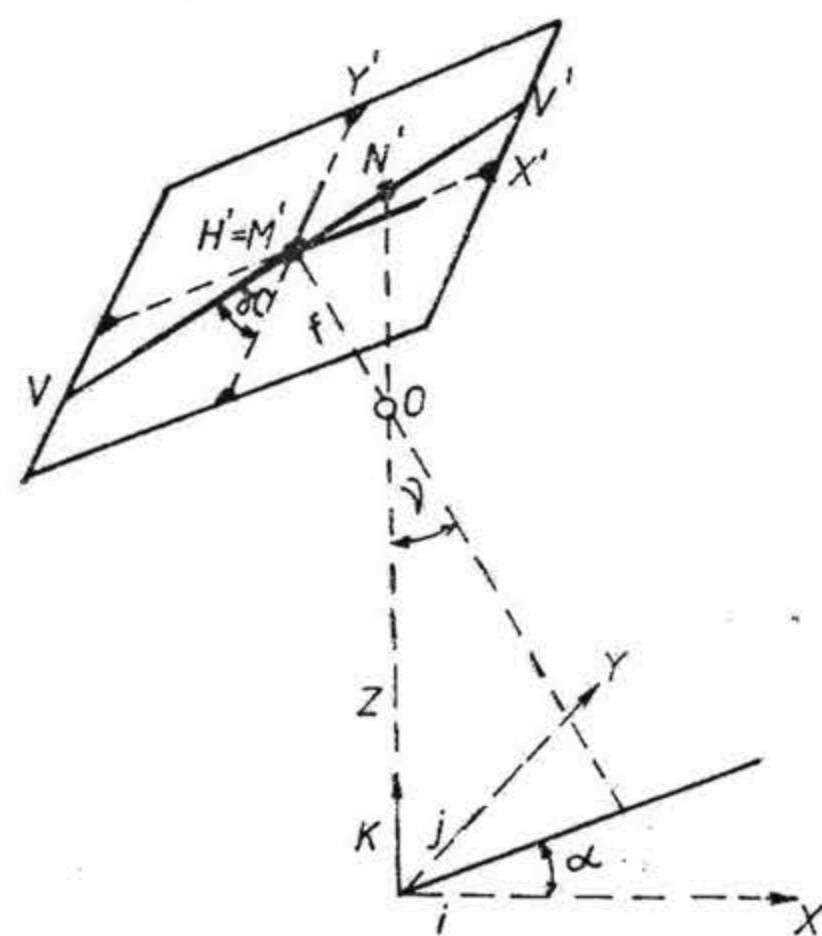


Fig. XV.86. Elemente de orientare exterioară a fotogramelor.

a) Elementele de orientare interioară determină poziția centrului de proiecție (a obiectivului) față de planul fotogramei. Aceste elemente sînt: distanța principală (focală) a obiectivului camerei fotogrammetrice și coordonatele fotogrammetrice ale punctului principal $x'_H, z'_H, (x'_H, y'_H)$ în fotogrammetria aeriană). Ele se determină cu precizie ridicată de către firma constructoare și se imprimă automat în timpul fotografierii pe planul fotogramei (fig. XV.85).

b) Elementele orientării exterioare (fig. XV. 86) determină poziția fascicolului fotogrammetric în spațiu. Acestea sînt coordonatele geodezice ale centrului de proiecție $\bar{X}_0, \bar{Y}_0, \bar{Z}_0$ și trei unghiuri independente ce arată poziția spațială a planului imagine:

α — unghiul de direcție (unghiul dintre direcția axei X și direcția axei de fotografiere);
 ν — unghiul de înclinare al fotogramei;

κ — unghiul de rotație al fotogramei (format de direcția axei Y cu verticala principală). Aceste elemente se determină prin metode geodezo-topografice cunoscute sau prin reperajul fotogrammetric.

În fotogrammetria terestră poziția fotogramei fiind bine cunoscută (plan vertical), elementele orientării exterioare se reduc la coordonatele centrului de proiecție, determinarea lor fiind practic mult simplificată.

5.2.5. RELĂȚIILE ANALITICE ALE FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Pentru a stabili analitic corespondența între coordonatele (X_P, Y_P, Z_P) punctului din spațiul real și coordonatele fotogrammetrice ale imaginii sale, vom face apel la elementele de orientare ale fotogramelor.

Vom considera punctele spațiului real ordonate față de sistemul $CXYZ$. Punctele imagine corespunzătoare le ordonăm față de sistemul de axe al fotogramei $x'z'$ (fig. XV.87).

Pentru a putea realiza transformarea coordonatelor dintr-un sistem în celălalt vom considera ambele sisteme cu aceeași origine, aceasta fiind centrul de proiecție O , punct bine determinat. Față de aceste sisteme vom putea defini poziția unui punct p' din planul imagine cu relația:

$$\begin{pmatrix} X'_{p'} \\ Y'_{p'} \\ Z'_{p'} \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ y'_{p'} \\ z'_{p'} \end{pmatrix} \quad (5.3)$$

în care R — reprezintă matricea de rotație a celor două sisteme și care pentru planul vertical al fotogramei (axele corespundente celor două sisteme fiind pe aceeași direcție) este:

$$R = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (5.4)$$

Sistemul X', Y', Z' fiind o translație a sistemului XYZ în punctul $O(X_0, Y_0, Z_0)$, poate fi scris sub forma:

$$X' = X - X_0; \quad Y' = Y - Y_0; \quad Z' = Z - Z_0 \quad (5.5)$$

Dacă se pune și condiția de coliniaritate ce trebuie să existe între punctul real P , centrul de proiecție O și punctul imagine p' :

$$\frac{X_P - X_0}{X'_{p'}} = \frac{Y_P - Y_0}{Y'_{p'}} = \frac{Z_P - Z_0}{Z'_{p'}} = \lambda \quad (5.6)$$

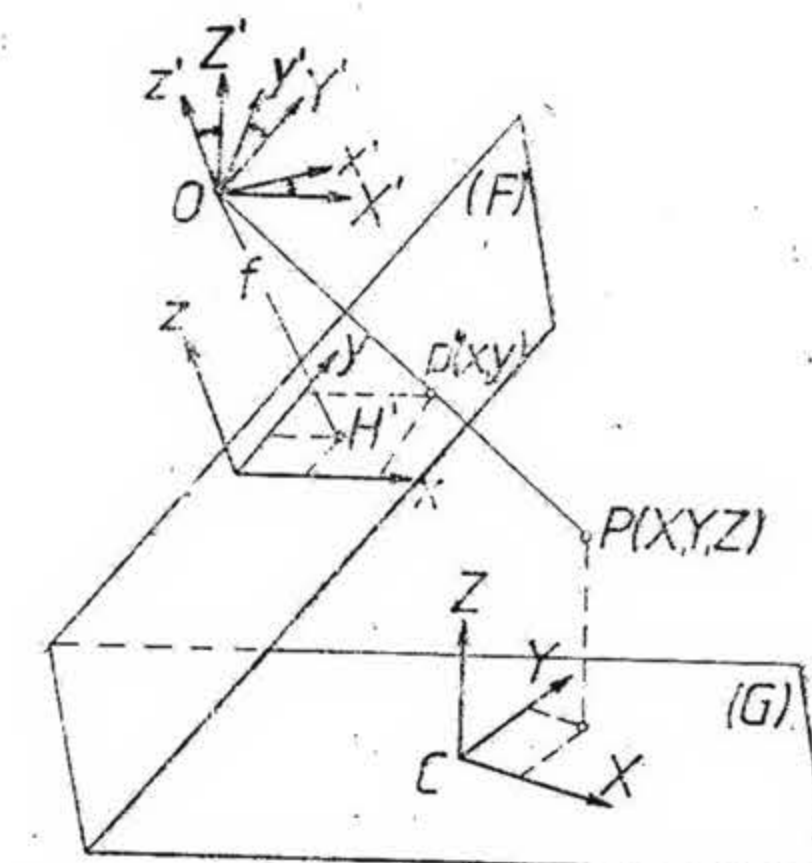


Fig. XV.87. Relații între coordonatele punctelor imagine și coordonatele spațiale.

vom obține relația :

$$\begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_O \\ Y_O \\ Z_O \end{pmatrix} + \lambda \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ f \\ z'_{p'} \end{pmatrix} \quad (5.7)$$

relație ce exprimă complet legătura între punctele spațiului real și imaginile lor din planul fotogramei.

Coordonatele punctului imagine $p'(x' z')$ se obțin rezolvînd sistemul de ecuații format prin eliminarea factorului λ din relație, astfel :

$$\begin{aligned} x'_{p'} &= f \frac{(X_P - X_O)}{Y_P - Y_O} \\ z'_{p'} &= f \frac{(Z_P - Z_O)}{Y_P - Y_O} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Sistemul are soluții unice și bine determinate. Dacă considerăm că originea sistemului spațial $X Y Z$ se află în centrul de proiecție O (fig. XV.88) atunci vom avea :

$$x'_{p'} = f \frac{X_P}{Y_P}; \quad z'_{p'} = f \frac{Z_P}{Y_P} \quad (5.9)$$

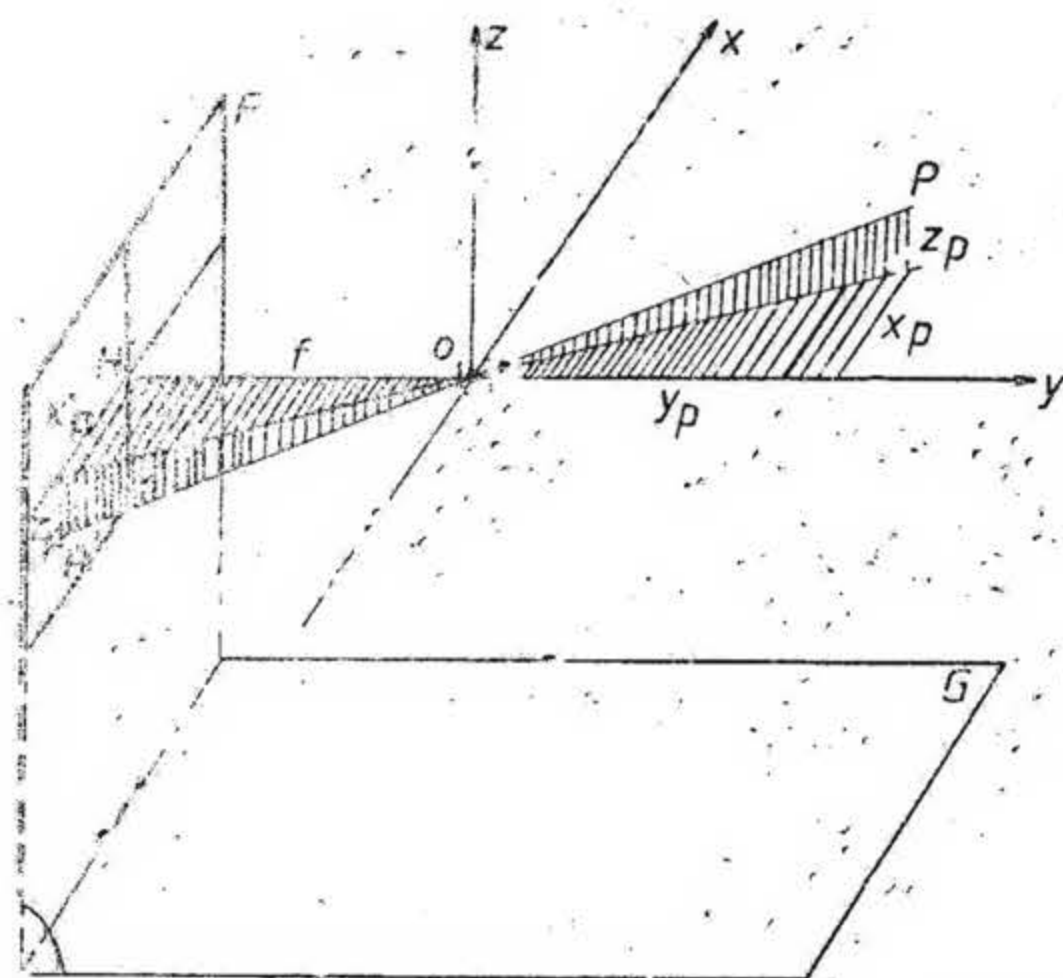


Fig. XV.88. Corespondența între coordonatele imagine și coordonatele spațiale ale punctelor în cazul fotogrammetriei terestre.

sau invers, putem calcula coordonatele spațiale ale unui punct cu ajutorul coordonatelor punctului imagine :

$$X_P = \frac{Y_P}{f} x'_{p'}; \quad Z_P = \frac{Y_P}{f} z'_{p'} \quad (5.10)$$

Relațiile stabilite mai sus permit ca pornind de la punctele imagine p'_i să se determine poziția punctelor P_i din spațiul real.

5.3. VEDEREA STEREOSCOPICĂ

5.3.1. VEDEREA BINOCULARĂ NATURALĂ

Capacitatea de apreciere a profunzimii (adîncimii reliefului), utilă în măsurătorile fotogrammetrice, se obține numai cu ajutorul vederii binoculare.

Ochiul uman, organul cu care se realizează vederea spațială, poate fi considerat ca un sistem optic, al cărui obiectiv (centru de proiecție) este cristalinul, iar planul focal pe care se formează imaginea virtuală a obiectului privit este partea cea mai sensibilă a retinei — pata galbenă. Cristalinul are capacitatea de a-și modifica curbura cu ajutorul mușchilor ciliari, astfel ca punctele reale situate la diferite distanțe să-și formeze imaginea pe pata galbenă. Această proprietate a ochiului se numește *acomodare*. După cum impulsurile luminoase impresionează celulele retinei, punctele obiectului se pot distinge separat sau confundat. Unghiul minim sub care două puncte se observă în mod separat poartă denumirea de *acuitatea vederii* și are valoarea de 20–30".

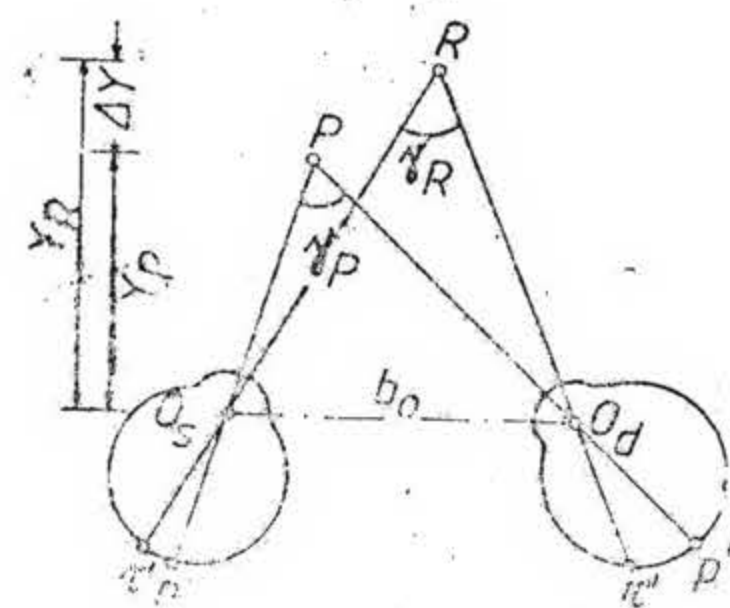


Fig. XV.89. Vederea spațială naturală.

Observarea simultană a unui obiect cu ambii ochi în anumite condiții permite realizarea percepției spațiale a acestuia, ca urmare a fenomenului de *fuziune binoculară*. Imaginile obiectului formate pe retinele celor doi ochi, diferite între ele, se transmit prin intermediul nervilor optici scoarței cerebrale care, printr-un proces fiziologic le transformă într-un model spațial.

Fie punctele O_s și O_d centrele de proiecție ale celor doi ochi, P și R punctele din spațiu, p' , p'' , r' , și r'' imaginile acestor puncte pe retine (fig. XV.89). Unghiul format de axele orizontale ale ochilor spre punctul din spațiu poartă denumirea de *unghi de convergență*. Mărimea lui depinde de depărtarea Y la care se găsește punctul real și de valoarea bazei oculare b_0 ($b_0 = 55-74$ mm). Variația unghiului de convergență $\Delta\gamma = \gamma_P - \gamma_R$ poartă denumirea de *paralaxă stereoscopică unghiulară*.

Din fig. XV.89 se poate scrie :

$$Y_P = \frac{b_0}{\gamma_P} p'' \quad (5.11)$$

Prin diferențierea relației (5.11) se obține :

$$\Delta Y = - \frac{b_0}{\gamma^2} p'' \Delta\gamma'' \quad (5.12)$$

sau

$$\Delta Y = - \frac{y}{b_0} \frac{\Delta\gamma''}{\rho''} \quad (5.13)$$

Relația (5.13) arată dependența dintre profunzimea ΔY și paralaxa stereoscopică unghiulară $\Delta\gamma$. Diferența dintre imaginile individuale ale ochilor $l_s - l_d = p$ se numește

paralaxă stereoscopică liniară și este direct proporțională cu paralaxa unghiulară $\Delta\gamma$. Deci :

$$l_s - l_a = p = K \cdot \Delta\gamma \quad (5.14)$$

înlocuind în relația (5.13) se obține :

$$\Delta Y = - \frac{y}{b_0} \cdot p \cdot K' \quad (5.15)$$

Se poate spune că și existența paralaxei stereoscopice liniare creează profunzime între punctele obiectului.

Pentru ca să se producă percepție spațială (efectul stereoscopic) nu trebuie depășite valorile limită ale paralaxei stereoscopice ($\Delta\gamma_{max} \approx 1'$ și $\Delta\gamma_{min} \approx 20''$). Pentru o valoare limitei acuității stereoscopice se obține conform relației (5.11) distanța Y pînă la care se poate realiza percepția stereoscopică.

$$\text{Astfel pentru } \Delta\gamma'' = 20'', Y = \frac{b_0}{\Delta\gamma''} \rho'' = \frac{65}{20''} 206265 \approx 670 \text{ m}$$

dacă se consideră că $b_0 = 74 \text{ mm}$, depărtarea Y poate fi de $\approx 800 \text{ mm}$.

În funcție de limitele între care variază acuitatea și baza interpupilară, distanța percepției stereoscopice directe este cuprinsă între 500 și 800 m. Pe lângă parametri menționați, vederea spațială directă este influențată de o serie de factori fiziologici (defecte ale vederii) și fizici, cum ar fi intensitatea luminii și contrastul între obiecte etc.

5.3.2. VEDEREA STEREOSCOPICĂ ARTIFICIALĂ

Condițiile vederii stereoscopice. Vederea spațială a unui obiect se poate obține și pe cale indirectă, fiind observate în condiții impuse două imagini perspective F_1 și F_2 ale obiectului, realizate din două centre de proiecție diferite (fig. XV.90). O astfel de vedere

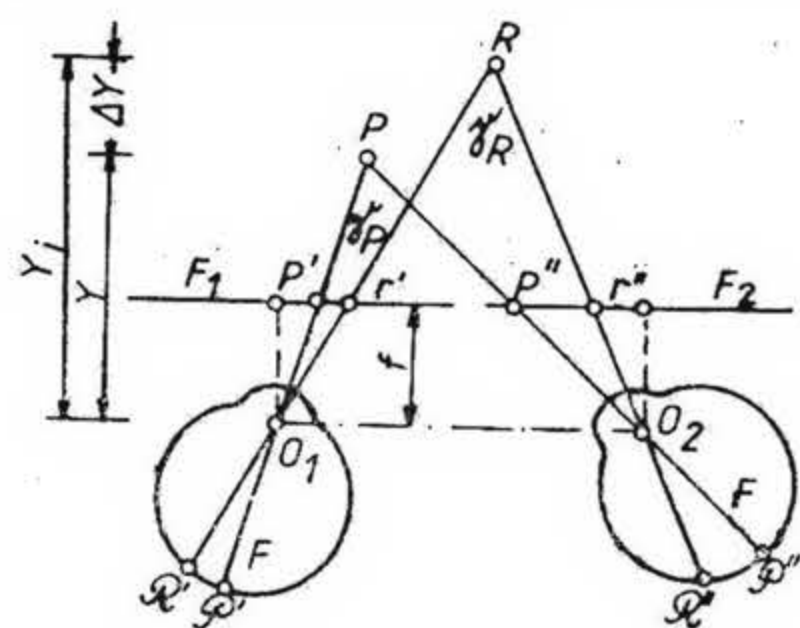


Fig. XV.90. Vederea stereoscopică artificială.

se numește *vedere stereoscopică artificială*, iar cele două imagini fotografice ce realizează efectul stereoscopic formează un *cuplu stereoscopic*. Pentru ca percepția stereoscopică să se realizeze trebuie ca imaginile perspective să îndeplinească următoarele condiții :

— imaginile trebuie să se deosebească prin paralaxa stereoscopică liniară p , ca atare se realizează din puncte diferite, distanța dintre aceste puncte denumindu-se *bază de fotografierie* b ;

— observarea fotogramelor să se facă concomitent; fiecărui ochi să-i corespundă o imagine impusă. Pentru a obține efectul stereoscopic direct (ortoscopic), ochiul stîng va observa fotografia din punctul stîng al bazei, iar ochiul drept din punctul drept. Dacă imaginile

se vor inversa se va obține o imagine stereoscopică inversă, un efect pseudoscopic;

— razele vizuale ale ochilor pornite de la punctele imagine trebuie să se intersecteze în spațiu sub unghiul de convergență cerut de vederea spațială directă.

Pentru ca imaginea stereoscopică să reprezinte fidel obiectul real trebuie ca :

— baza de preluare b să fie egală cu baza de observare b_0 ;

— distanța de observare f să fie aceeași cu distanța focală a aparatului de preluare.

În cazul vederii stereoscopice artificiale, baza de preluare este mărită cu un număr n ori față de cea de observație (sute sau chiar mii de ori). În acest caz observarea cu o bază b_0 a imaginilor F_1 și F_2 preluate în o bază b realizează un model stereoscopic micșorat apropiat de bază de același număr de ori (fig. XV.91). Aproximarea modelului de observator mărește și acuitatea stereoscopică de același număr de ori (fig. XV.91, a).

Modificarea distanței de observare de v ori față de distanța principală de la preluarea fotogramelor are efect, de asemenea, asupra modelului stereoscopic format. Vederea stereoscopică formată prin intermediul imaginilor respective va apare mai apropiată

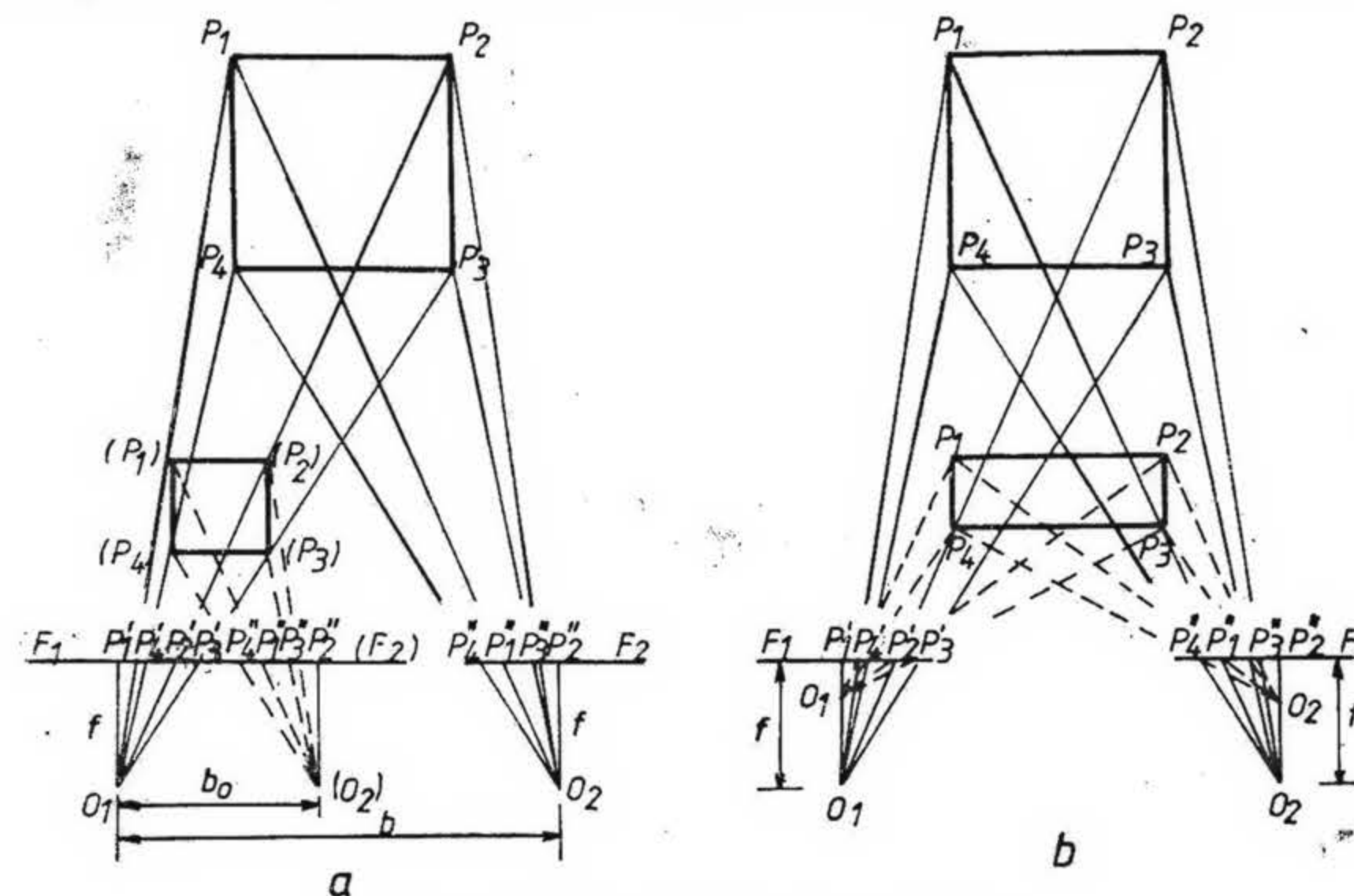


Fig. XV.91. Model stereoscopic :

a — omotetic deformat; b — deformat prin modificarea distanței de observare.

de bază, dar și deformată în profunzime cu același număr v (fig. XV. 91,b). Rămân neschimbate numai direcțiile paralele cu baza de preluare. Prin deformarea profunzimii acuitatea percepției spațiale scade, însă va crește de v ori datorită apropierii modelului. Prin aplicarea concomitent a ambelor posibilități se obține o mărime de $n \cdot v$ a acuității percepției în profunzime a modelului.

Aceste căi de îmbunătățire a percepției în profunzime sînt utilizate la aparatura de observare stereoscopică.

Observarea stereoscopică. Observarea modelului spațial indirect se realizează cu ajutorul unor instrumente numite *stereoscoape*. Din punct de vedere constructiv ele pot fi cu lentile, cu prisme sau cu oglinzi. Prin combinarea tipurilor de bază se obțin diferite tipuri de stereoscoape. Caracteristica tuturor stereoscoapelor constă în sistemul optic astfel realizat încît să permită realizarea condițiilor vederii stereoscopice și anume, separarea imaginilor oferite ochilor observatorului și orientarea reciprocă a imaginilor.

Pentru a obține modelul stereoscopic, cuplul stereoscopic trebuie orientat față de baza de observație. În cazul fotogramelor terestre, orientarea rezultă prin poziționarea paralelă a axelor $x - x'$ a fotogramelor față de baza de observație. În fig. XV.92 este prezentat stereoscopul cu oglinzi.

Măsurarea stereoscopică. Modelul stereoscopic obținut prin observarea stereoscopică a stereogramei permite efectuarea de măsurători în scopul determinării formei, mărimii și poziției obiectului. Măsurarea stereoscopică are la bază *principiul mărcii mobile a lui Stoltz* (1892), preluat și îmbunătățit de P u l p h r i c h și aplicat la construcția aparatelor de restituție.

În fotogrammetrie marca mobilă este denumită marca spațială percepută de observarea stereoscopică a două mărci parțiale. Mărcile parțiale m_1 și m_2 se plasează în așa fel încât să indice riguros poziția punctelor omoloage p' , p'' , pe stereogramă. În această situație, în câmpul modelului va apare marca spațială

(M) în coincidență cu punctul P al modelului spațial (fig. XV. 93). Nesuprapunerea perfectă a uneia sau a ambelor mărci m_1 și m_2 pe punctele imagine face ca marca spațială să părăsească modelul, aflându-se fie deasupra lui, fie în profunzime, producând greșeli în măsurare.

Mărcile parțiale de măsurare pot avea diferite forme (puncte, cercuri, cruce), pot fi negre sau luminoase. Ele echipează orice aparat de restituție stereofotogrammetrică și pot fi realizate virtual prin intersecția traseelor optice corespunzătoare celor două mărci portabile sau într-o formă reală prin materializarea ei în câmpul stereomodelului.

Legătura mărcilor parțiale cu un dispozitiv de citire sau de desenare corespunzător definește coordonatele modelului prin intermediul coordonatelor

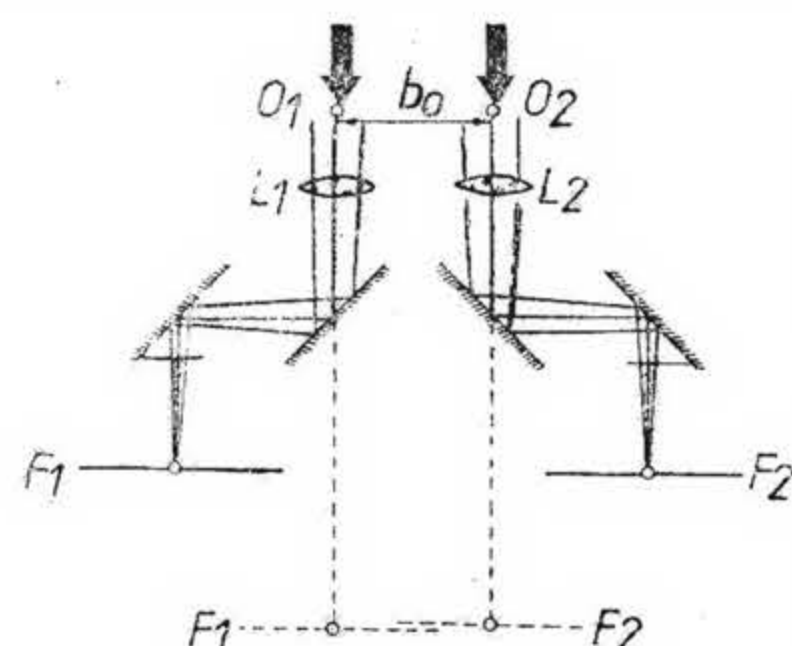


Fig. XV.92. Stereoscopul cu oglinzi.

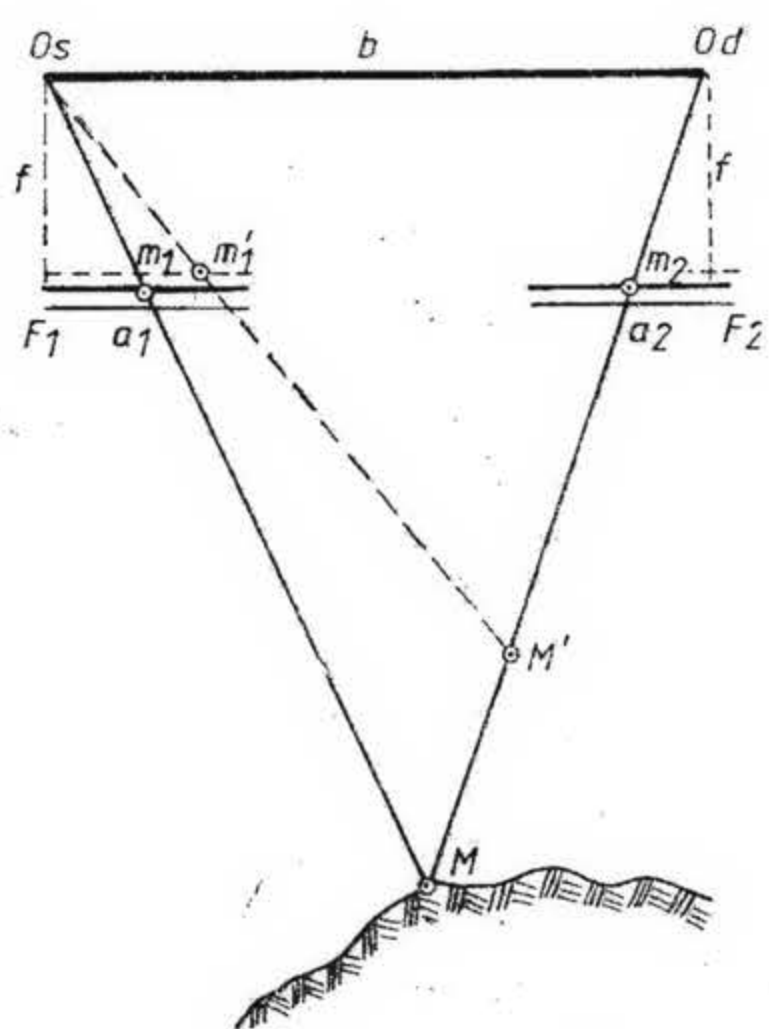
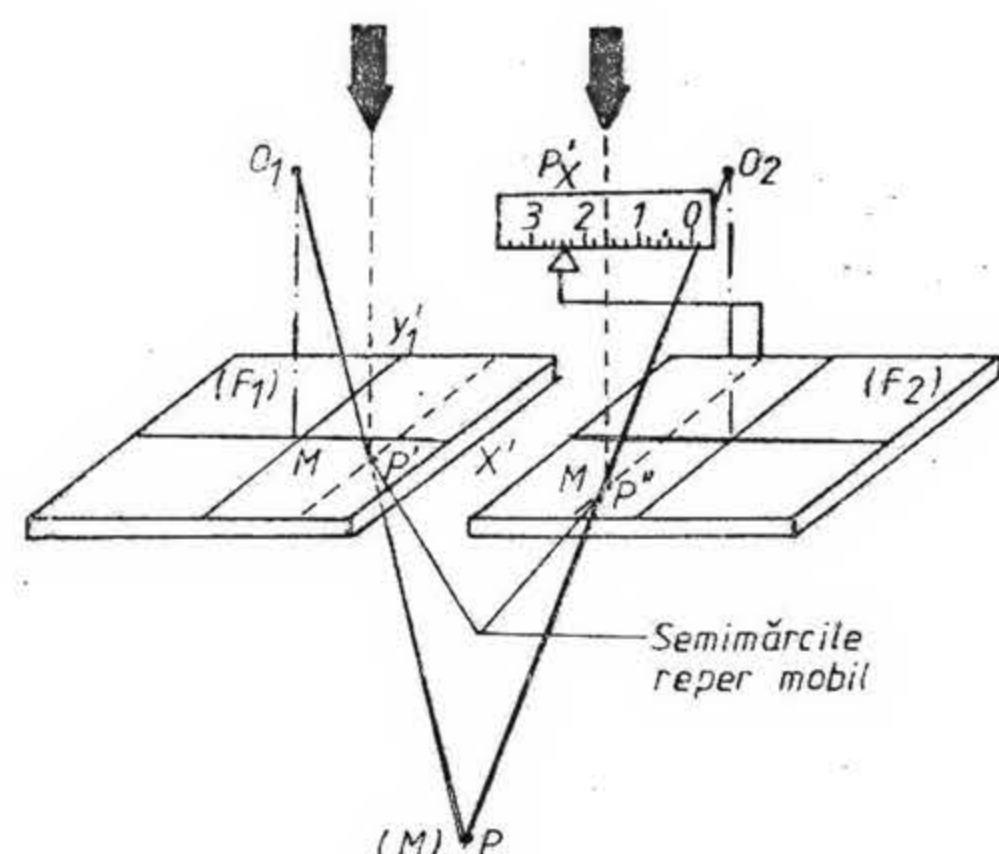


Fig. XV.93. Principiul măsurării stereoscopice.

fotogrammetrice $x'z'$ sau a paralaxelor p_x și p_z . Astfel că, prin deplasarea mărcii spațiale pe modelul optic, este posibilă restituția continuă a modelului prin izolinii sau curbe de nivel. Acest lucru reprezintă un avantaj incontestabil al măsurării fotogrammetrice.



Semimărcile
reper mobil

5.4. APARATURA DE FOTOGRAFIERE

Pentru obținerea fotogramelor terestre se folosesc camere de fotografiat speciale ale căror elemente de orientare interioară sînt cunoscute sau posibil a fi cunoscute. În general, o cameră metrică se compune dintr-un corp al camerei, obiectivul fotografic și un plan riguros dispus pe cadrul camerei — planul focal.

Acest plan focal, perpendicular pe axa de fotografiere, se află față de pe punctul nodal al obiectivului, la o distanță f egală cu distanța focală a acestuia. Pe cadrul camerei de fotografiat sînt dispuși patru indici de referință la intersecția axelor ce îi unesc, definindu-se poziția punctului principal H' . Prin fotografierea acestor indici se formează imaginea lor pe fotogramă. Un rol important în realizarea imaginii fotografice îl are *obiectivul fotogrammetric*. Pentru ca acesta să dea o imagine riguroasă a obiectului fotografiat, trebuie să aibă următoarele calități: claritate mare, să fie lipsit de aberația de distorsie, putere de rezolvare mare, curbura de câmp mică, câmp angular potrivit (se folosesc obiective cu unghiul de câmp de $60^\circ - 120^\circ$).

Pe lângă aceste părți componente principale, camerele de fotografiere terestre trebuie să mai fie prevăzute cu:

- dispozitiv de orientare (pentru determinarea direcției de fotografiere);
- șuruburi de calare pentru verticalizarea planului imagine;

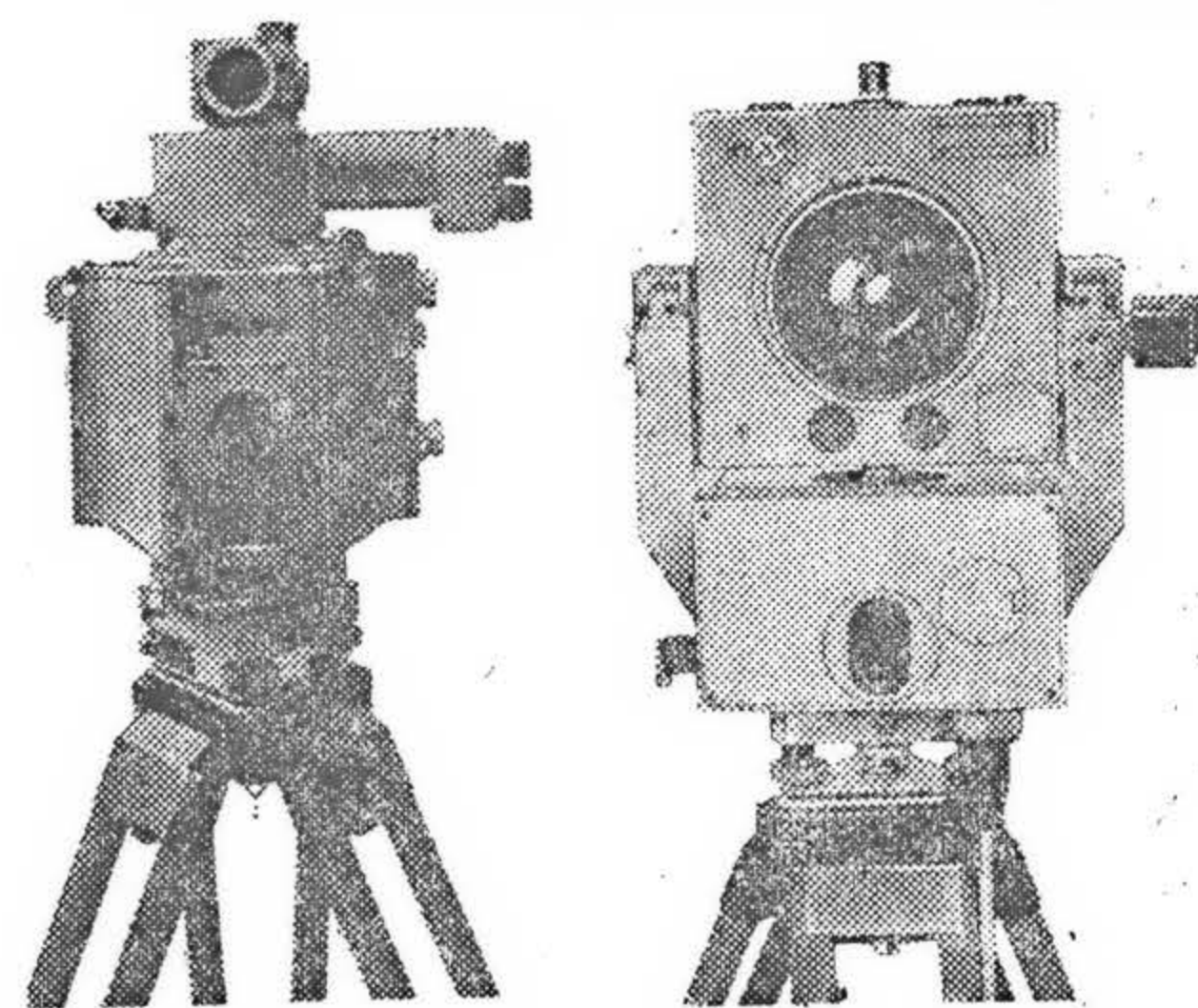


Fig. XV.94. Camere fotogrammetrice.

- nivele pentru orizontalizarea axei de fotografiere și a axei de vizare a lunetei;
- alte dispozitive anexe (pentru determinarea câmpului de fotografiere și înscrierea datelor necesare restituției).

Camerele metrice de preluare folosite în fotogrammetria terestră se împart în două categorii:

- camere fotogrammetrice individuale (de tipul fototeodolitelor, fig. XV.94);
- camere fotogrammetrice duble sau camere stereometrice (fig. XV.95).

Fototeodolitul (fig. XV.96) este construit dintr-o cameră metrică de fotografiere 1 și un dispozitiv de orientare 2 cu axa verticală comună. Dispozitivul de orientare, legat

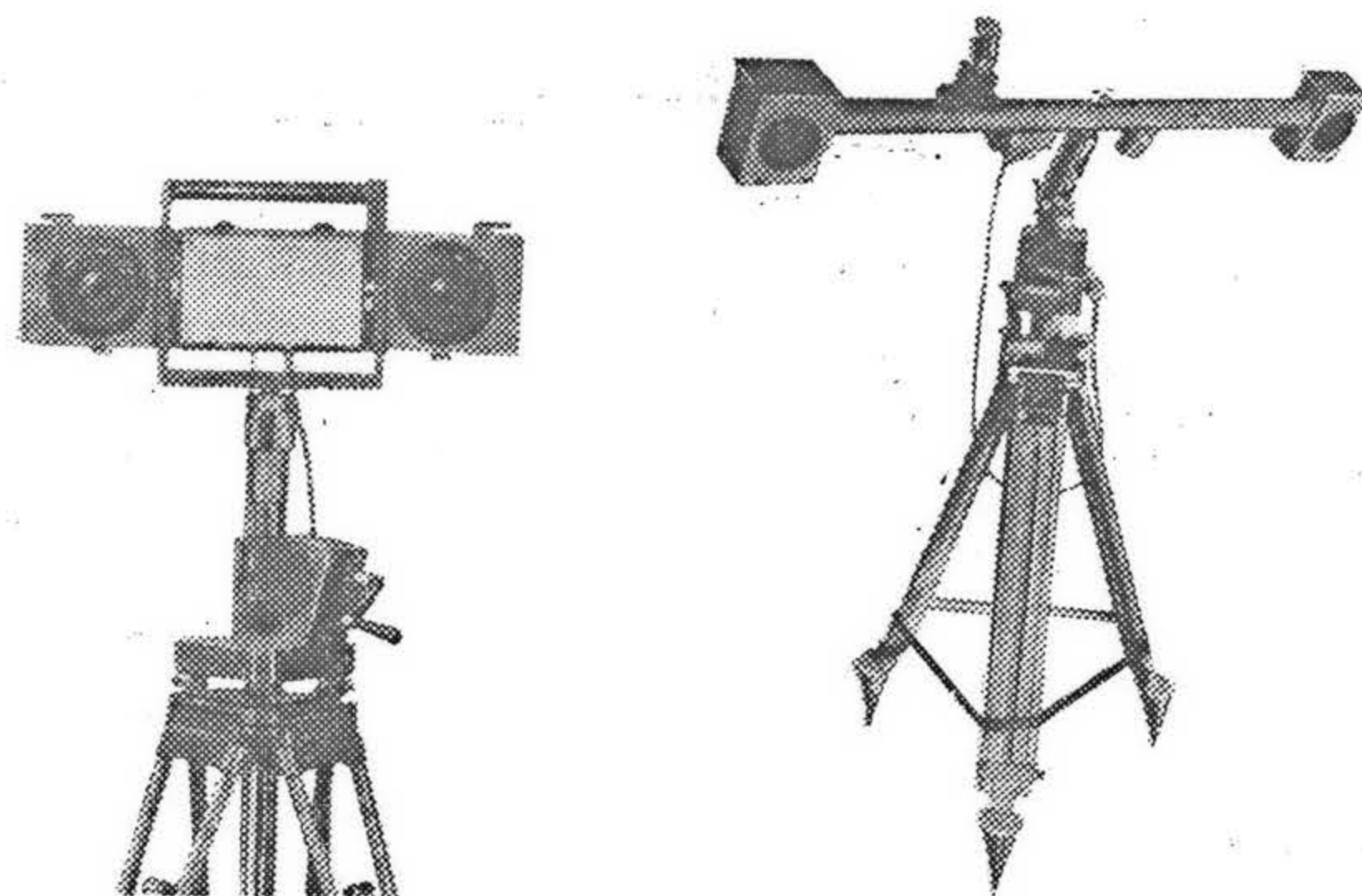


Fig. XV. 95. Camere stereometrice.

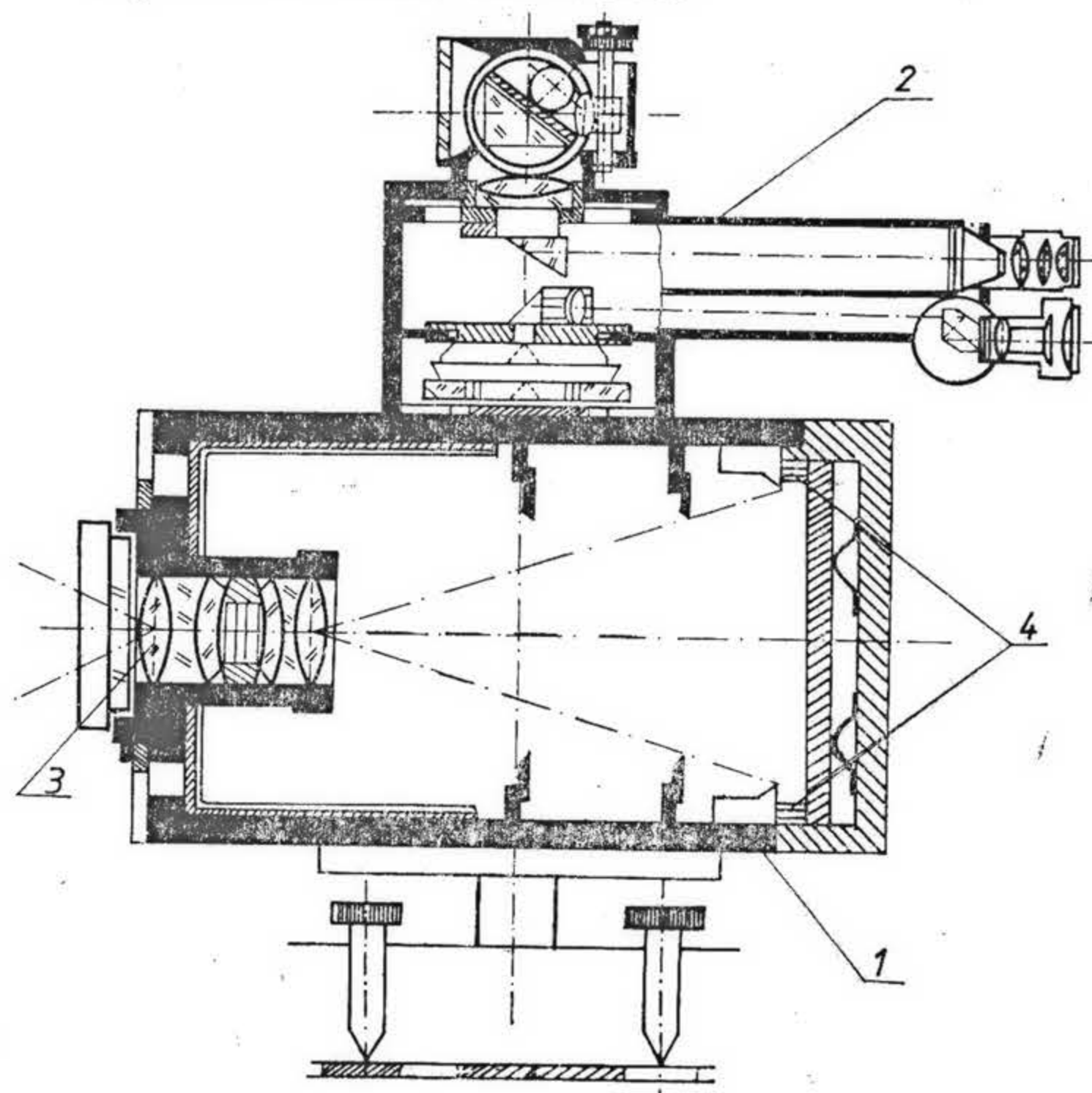


Fig. XV.96. Foto-teodolitul.

rigid de cameră sau detașabil, îndeplinește funcția de teodolit și este necesar determinării elementelor de orientare exterioară. De regulă, fototeodolitele sînt construite cu axa de fotografiere orizontală, iar pentru creșterea cîmpului de fotografiere pe verticală, obiectivul aparatului (3) are posibilitatea de a culisa riguros în plan vertical în sus și jos, deplasare ce trebuie să fie în strînsă legătură cu indicii de referință (4) de pe cadrul camerei. Există și fototeodolite cu camera fotogrammetrică mobilă, care au posibilitatea ca axa de fotografiere să facă diferite unghiuri de înclinare (oarecare sau determinate).

În funcție de domeniul de utilizare, fototeodolitele se pot împărți în :

— fototeodolite cu profunzime de cîmp între 20 m și cu deschiderea diafragmei constantă ;

— fototeodolite cu profunzime de cîmp redusă și cu difragma reglabilă.

Fototeodolitele din prima categorie servesc pentru măsurători în scopuri topografice, atunci cînd obiectele se află la distanță mare față de aparatul de fotografiat, iar cele din a doua categorie servesc pentru realizarea fotogramelor în scopuri speciale (studiul deformațiilor etc.). Caracteristicile și parametrii tehnici sînt date în tabelul XV.10.

Camere stereometrice. Sînt formate din două camere fotogrammetrice identice montate pe o bară de lungime fixă sau variabilă (v. fig. XV. 95). Axele de fotografiere a celor două camere trebuie să fie riguros paralele între ele și perpendiculare pe bază ; ele pot fi orizontale sau pot face un unghi de înclinare cu orizontala.

Acționarea camerei stereometrice în vederea realizării fotogramelor este centralizată. La unele aparate sistemul bazei și al celor două camere poate fi ridicat sau coborît la înălțimea dorită de fotografiere. Camerele stereofotogrammetrice se utilizează în fotografierea obiectelor la distanță mică (1,5—10 m), în spațiu restrîns, unde este dificilă amplasarea și realizarea unei baze fotogrammetrice prin fotografiere cu camere izolate.

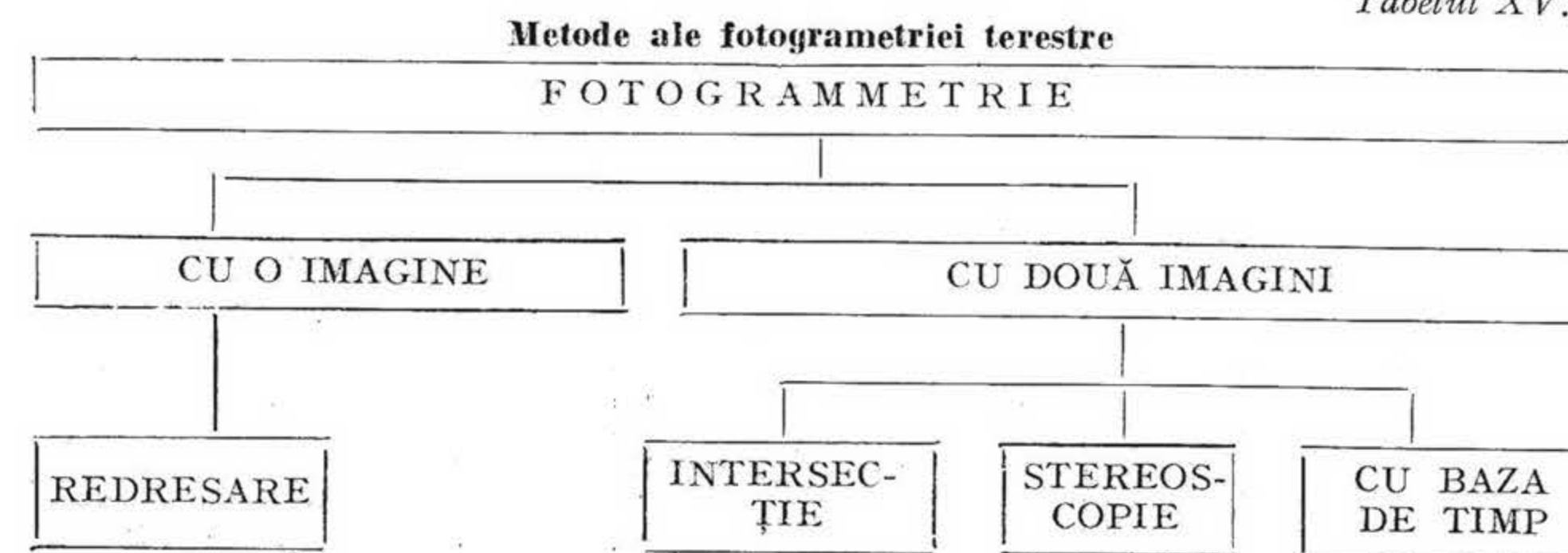
Prin simplitatea construcției lor, a modului de executare a fotogramelor, precum și prin faptul că în restituția fotogramelor realizate se utilizează relații simple, utilizarea lor este avantajoasă în multe domenii de activitate. În tabelul XV.11 (v. p. 566) sînt date caracteristicile și parametrii tehnici ai camerelor stereofotogrammetrice.

5.5. METODELE FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Fotogrammetria terestră se ocupă cu metodele, procedeele, prin care se determină forma, poziția și dimensiunile obiectelor din spațiu pe baza măsurătorilor efectuate pe imaginile fotografice obținute din puncte fixe de pe suprafața terestră.

Practic reconstituirea spațială se realizează printr-un ansamblu de operații de fotografiere, măsurare și reprezentare a rezultatelor, fie sub formă numerică, fie sub formă

Tabelul XV.9



Caracteristici tehnice ale fototeodolitelor

Denumirea	Producătorul	Formatul fotogra- melor [cm × cm]	Distanța focală [mm]	Deschide- rea dia- fragmei obecti- vului	Unghi de cîmp pe orizon- tală/pe verticală	Axa de fotogra- fiere	Interval de foto- grafiere [m]	Suportul foto placă/film
Fototeodolitul Phototheo 19/1318	Carl Zeiss Jena — R.D.G.	13 × 18	190	1:25 constant	52° 38°	0	25 — ∞	p
Fototeodolitul TAF	Aerotopograf R.F.G.	13 × 18	160	1:25 constant	0	0	2 — ∞	p
Fototeodolitul MK 165	Sokkisha Japonia	12 × 16,5	165			0		p
Camăra universală UMK 10/1318 ND NF	Carl Zeiss Jena — R.D.G.	13 × 18	100	1:8 variabil 8...3	88 68°	0, v și i (+90 la -30° din 15° în 15°)	25 — ∞ 2,1 — ∞	p p/f p p/f
Fototeodolitul Wild P 30	Wild Elveția	10 × 15	165	1:12 constant	60°	0, i (+7° — 28° din 7° în 7°)	30 — ∞	p
Camăra teres- tră universală Wild P31	Wild Elveția	9 × 12	100	1:5,6 variabil 5,6—22	67,5°	0, v, i (±7°; ±14°; ±25°; ±30°; +100° adiționale)	25 — ∞ (cu lentile adiționale)	p/f

Camăra terestră Wild P 32	Wild Elveția	6,5 × 9	64	1:8 8...2	—	0, i (0 — 40°)	3,3 — ∞	p/f
Camăra terestră TMK-6	Zeiss Oberko- chen R.F.G.	9 × 12	60	1:11 constant	72°	0, v, i (+30°; ±70°; +100°)	2,5 — ∞	f/p
Camăra terestră TMK-12	Zeiss Oberko- chen R.F.G.	9 × 12	120	1:8 8...16	72°	0, v, i (+30°; ±70°; +100°)	20 — ∞	f/p
Fototeodolit FTG-1	Galileo Italia	10 × 15	155	—	—	0, i (0 — 40°)	1 — ∞	p/f
Verostat	Galileo Italia	9 × 12	100	—	—	0, v, i (0 — 100°)	2 — ∞	p
Veroplast	Galileo Italia	3 × 18	150	1:6,3 6,3...25	—	0, v, i (0 — 100°)	2 — ∞	p

Caracteristicile tehnice ale camerelor stereometrice

Denumirea	Producătorul	Distanța focală [mm]	Unghi de câmp pe orizontală și verticală [grade]	Mărimințea bazei [cm]	Înălțimea de instalare [m]	Formatul fotograficlor [cm × cm]	Intervalul de fotografieri [m]	Axa de fotografiere	Suportul emulsiei		Particularități
									plăci	film	
SMK 5,5/0808/40 SMK 5,5/0808/120 Stereocamera UMK 10/1318	Karl Zeiss R.D.G.	56		40 120	1,5— 2,7	9 × 12	1,5—10 5—30	0, v, i, în trepte din 15° în 15°	da	—	— Baza poate fi orizontală și verticală, se poate introduce la fiecare cameră o convergență de 0° la 12°.
		100		35— 160	0,6— 2,1	13 × 18	1—10	0, i (0° la 50°)	da	da	— Baza poate fi orizontală și verticală.
Stereocamera Wild C-4 Wild C-40 Wild C-120	Wild Elveția	6,4	71° 35,6°	40 120	1,5— 2,5	6,5 × 9	1—10 5—30	0, v, i (±10°, 30°, 60°, 80°, 90°) 0, v, i (−25°; −15°; 0; +15°)	da	—	— Baza poate fi așezată și vertical.

Stereocamera SMK-40 Stereocamera SMK-120	Zeiss Oberkochen R.F.G.	60		40 120	1,3— 2,5	9 × 12	2,5—10 5—50	0, v, i 0, i (0°—28°) 0, v, i	da	—	— Cu lentile suplimentare se poate prelua și în intervalul 0,5—2,5 m
Verosta Veroplast Tecnoster A Tecnoster B	Galileo Italia	100 150 75 150		120— 55 200— 300 16,5— 70 100— 200 30—70	1,3— 2,6 0,5— 2,6	9 × 12 13 × 18 6,5 × 9,5 23,5 × 23,5	2—∞ 1,6—∞ 0,6—∞ 1,6—2,6	0, i (0°—28°) 0, v, i 0, i (±20°) 0, i (±5,5 la 50°)	da da	— —	— Se poate introduce o convergență de până la 15°
DMK 100/1318	Ascania Elveția	100		30—85	1—1,5	13 × 18	1—∞	0, i, v	da	—	— Punctul principal poate fi deplasat
Stereo ST 40 Stereo ST 120	Asahi	65		40		6,5 × 9	2,5—10 5—10	v 0, v, i (3,33° și 6,66°)	da da	— —	
ST-120 SKB 40 SKB 120 B-54 V-3 KSK-100	Nikon Sokkisha Japonia	60 121 90		120 45 25; 35 50 30; 50 100	1,5— 2,5 1,3— 1,8	6,5 × 9 9 × 12 12 × 16,5	<9 <5 1—∞ 0,5—∞ 1—∞	0 0, i (±30°) 0, i (±15°)	da da	— —	

analogică, prin izolinii sau curbe de nivel. Se deosebesc mai multe metode de exploatare a fotogramelor în vederea reconstituirii formei obiectelor reale (tabelul XV.9), folosirea uneia sau alteia din metode fiind în funcție de poziția obiectului în spațiu, de depărtarea lui și de elementele necesare în determinare. În general, în fotogrammetria terestră axele de fotografiere se consideră orizontale, perpendiculare pe planul imaginii și numai în cazuri speciale sînt înclinate cu un unghi ω cunoscut față de orizontală. Această condiție simplifică mult operațiile de reconstituire spațială. Redarea formei și poziției obiectelor în spațiul real impune cunoașterea elementelor de orientare a fotogramelor (v. 5.2.4.) elemente care în cazul fotogrammetriei terestre pot fi determinate prin metode geodezo-topografice.

5.5.1. FOTOGRAMMETRIA CU O IMAGINE

Fotogrammetria cu o imagine se caracterizează prin aceea că prin exploatarea fotogramei se obține numai poziția în plan XZ a obiectului real. Metoda este avantajoasă pentru determinarea obiectelor dispuse mai mult în plan vertical cu suprafețe netede. În topografie se folosește pentru realizarea releveelor, pentru urmărirea comportării construcțiilor industriale și civile, iar în activitatea subterană pentru determinarea secțiunilor transversale a lucrărilor miniere sau a urmăririi deformării lucrărilor miniere sub influența presiunilor.

Preluarea imaginilor singulare se realizează cu fototeodolite din puncte de stație stabile, a căror poziție în spațiu este cunoscută. Fotografierea se face de la distanța convenabilă, care să asigure înregistrarea pe fotogramă a întregii suprafețe a obiectului fotografiat (clădiri, secțiuni ale lucrărilor miniere etc.). Distanța de fotografiere se stabilește cu relațiile (fig. XV.97):

$$Y = \frac{X}{x'} f; \quad Y = \frac{Z}{z'} f \quad (5.16)$$

în care: X, Z sînt dimensiunile obiectului fotografiat; x', z' — dimensiunile utile ale fotogramei; f — distanța focală a obiectului.

Atît în vederea reprezentării la scară, cît și pentru determinarea poziției obiectelor este necesară existența unui număr de repere pe obiect, care să se înregistreze și pe fotogramă.

Punctele de reper pot fi materializate prin două mire perpendiculare între ele, una dispusă în plan orizontal și cealaltă în plan vertical, încît să se poată controla scara reprezentării pe cele două direcții. Fotografierea se poate efectua cu axa de fotografiere orizontală și perpendiculară pe planul obiectului sau cu axa de fotografiere deviată față de normală (fig. XV.98).

Disponerea axei de fotografiere perpendiculară pe obiect se realizează cu ajutorul echerelor, care asigură o precizie de $\pm 5''$ pentru distanța de 15—20 m. Prelucrarea foto-

gramelor se poate realiza pe cale numerică sau grafică, cu ajutorul unui aparat de proiecție. Oricare ar fi metoda de prelucrare, trebuie stabilită scara de reprezentare. În cazul fotogramelor preluate cu axa de fotografiere orizontală și perpendiculară pe obiect, scara este dată de:

$$m_l = \frac{Y}{f} = \frac{S_h}{s'_h} = \frac{S_v}{s'_v} \quad (5.17)$$

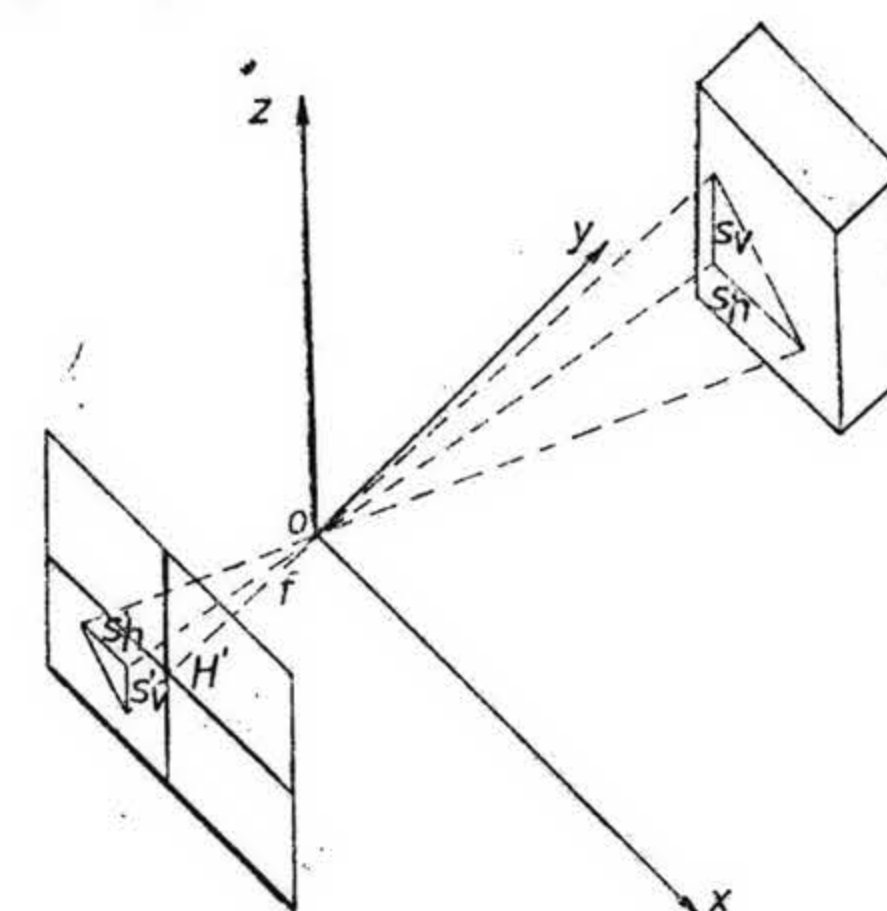


Fig. XV.97. Fotografierea imaginilor cu axa perpendiculară pe planul obiectului.

unde: Y este distanța între punctul de stație și planul fotografiat; f — distanța focală a aparatului de fotografiat; S_h, S_v sînt mirele reper dispuse în plan orizontal și vertical; s'_h, s'_v — imaginile mirelor semnal.

Numeric, fotogramele se prelucurează cu ajutorul relațiilor:

$$X_i = m_l \cdot x'; \quad Z_i = m_l \cdot z' \quad (5.18)$$

în care: X_i, Z_i sînt coordonatele spațiale ale punctelor obiect; x', z' — coordonatele fotogrammetrice;

și se măsoară pe fotogramă cu ajutorul unui comparator.

În cazul în care fotografierea s-a efectuat cu axa deviată cu unghiul φ față de normală, coordonatele X_i, Z_i ale punctelor reale se calculează cu relațiile (fig. XV.98): — pentru X :

$$\frac{x'}{f} = \frac{(x)}{Y + \Delta Y} = \frac{X \cos \varphi}{Y + X \sin \varphi} \quad (5.19)$$

de unde:

$$X = \frac{Y \cdot x'}{f \cos \varphi - x' \sin \varphi} \quad (5.20)$$

sau:

$$m_{lx} = \frac{Y}{f \cos \varphi - x' \sin \varphi} \quad (5.21)$$

— determinarea scării pentru Z :

Pentru dreptele ce trec prin punctul H , scara va fi dată de raportul:

$$m_{lz} = \frac{Y}{f} \cos^2 \varphi \quad (\text{fig. XV.99}) \quad (5.22)$$

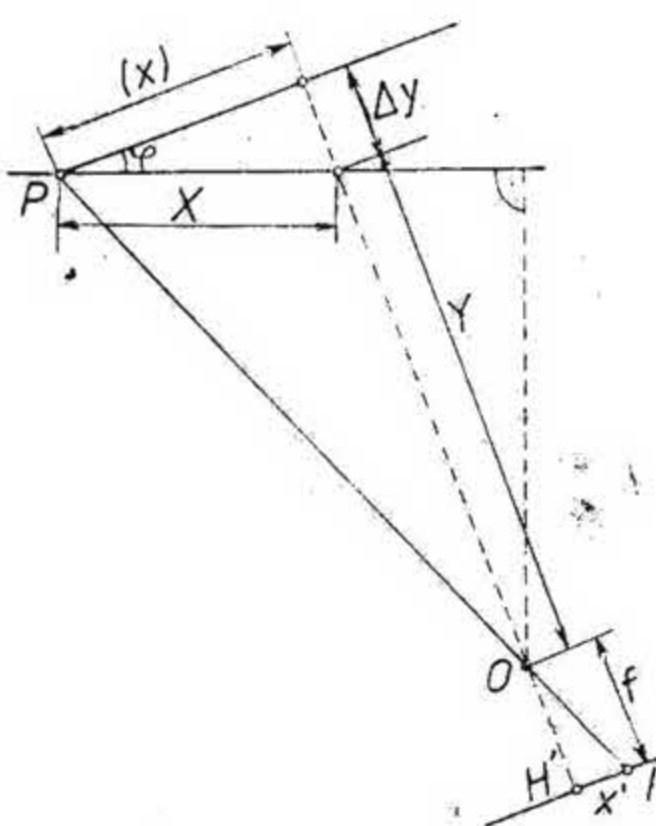


Fig. XV.98. Fotografierea imaginilor cu axa de fotografiere deviată cu unghiul φ .

Pentru dreptele verticale ce trec printr-un punct oarecare P , scara pentru Z va fi dată de relația (fig. XV.99):

$$m_{lzP} = \frac{e}{e'} \quad (5.23)$$

unde:

$$e = \frac{Y \cos \varphi}{\cos (\alpha - \varphi)}; \quad e' = \frac{f}{\cos \alpha} \quad (5.24)$$

atunci:

$$m_{bzP} = \frac{Y \cos \varphi \cdot \cos \alpha}{f \cos (\alpha - \varphi)} = \frac{Y}{f} (1 + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \quad (5.25)$$

dar

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{f}{x'_{P'}}$$

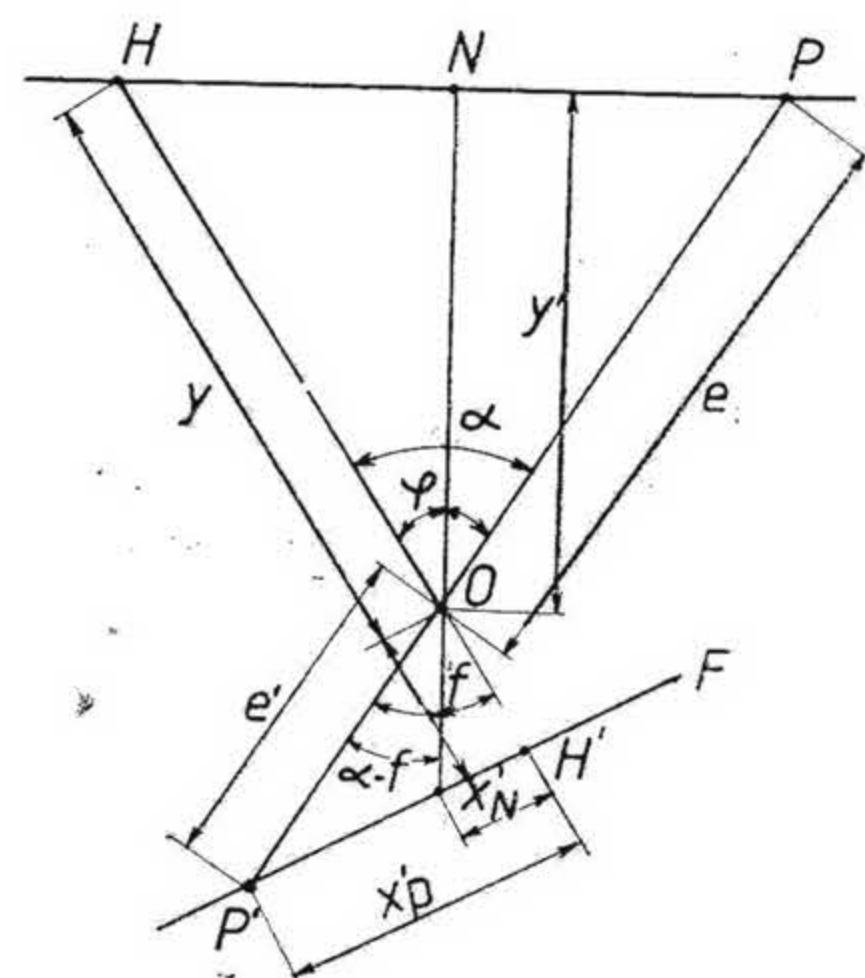


Fig. XV.99. Determinarea scării imaginii pe direcția Z .

$$m_{bzP} = \frac{Y}{f} \left(1 + \frac{f \cos \varphi}{x'_{P'} \sin \varphi} \right) \quad (5.26)$$

$$Z_P = m_{bzP} \cdot z'_{P'} \quad (5.27)$$

5.5.2. FOTOGRAMMETRIA CU DOUĂ IMAGINI

Practic fotogrammetria cu două imagini se manifestă sub două forme: 1) *fotogrammetria prin intersecție* și 2) *stereofotogrammetria*.

Fotogrammetria prin intersecție se folosește atunci când depărtarea obiectului față de bază este foarte mică, respectiv raportul $\frac{Y}{b} \approx 1$. Este avantajoasă în cazul obiectelor

abrupte cu suprafețe denivelate, când punctele omoloage pe cele două imagini sînt ușor identificabile și definite. Metoda are avantajul că se obține o precizie de determinare echivalentă pe cele trei axe $m_x \approx m_y \approx m_z$. Prin faptul că punctele omoloage trebuie să fie foarte bine definite pe fotograme, precum și exploatarea se poate face numai analitic, numai punct cu punct, metoda este încă puțin aplicată.

Coordonatele fotogrammetrice se pot obține fie cu ajutorul unui stereocomparator, fie individual.

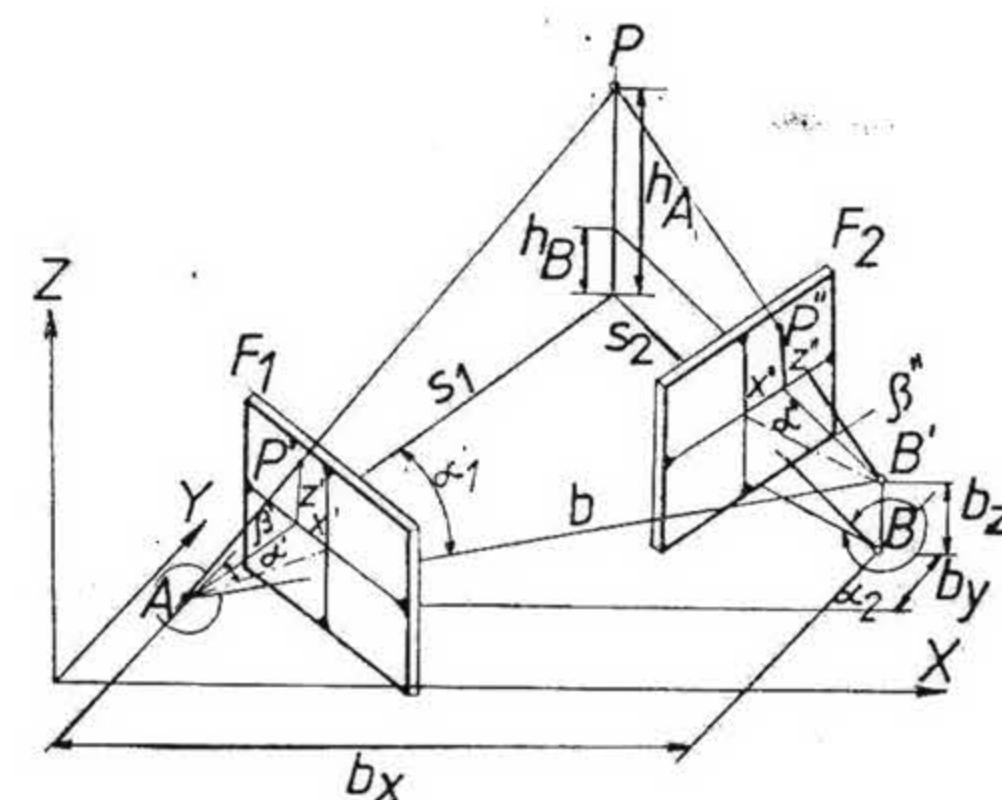


Fig. XV.100. Fotogrammetria prin intersecție.

Fie punctele A și B de capăt ale bazei a cărei lungime și orientare o cunoaștem. Se efectuează două fotograme cu axele de fotografiere orizontale perpendiculare pe planul fotogramei și convergente cu unghiurile σ_1 și σ_2 . Poziția punctelor izolate se determină prin intersecție înainte, cu ajutorul unghiurilor orizontale α_1 și α_2 (fig. XV.100):

$$\alpha_1 = \sigma_1 + \alpha'; \quad \alpha_2 = \sigma_2 + \alpha'' \quad (5.28)$$

Unghiurile α' , α'' , β' , β'' se determină din coordonatele fotogrammetrice cu relațiile:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{x'}{f}; \quad \operatorname{tg} \beta' = \frac{z' \cos \alpha'}{f} \quad (5.29)$$

$$\operatorname{tg} \alpha'' = \frac{x''}{f}; \quad \operatorname{tg} \beta'' = \frac{z'' \cos \alpha''}{f}$$

Față de sistemul de referință spațial cu originea în punctul A și cu axa X pe direcția bazei, rezultă:

$$\begin{aligned} X_P &= s_1 \cos \alpha_1 = b - s_2 \cos \alpha_2 \\ Y_P &= s_1 \sin \alpha_1 = s_2 \sin \alpha_2 \end{aligned} \quad (5.30)$$

dar:

$$s_1 = \frac{b \sin \alpha_2}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad s_2 = \frac{b \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (5.31)$$

deci:

$$X_P = \frac{b \sin \alpha_2 \cos \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad Y_P = \frac{b \sin \alpha_2 \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (5.32)$$

sau:

$$X_P = \frac{b \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2}; \quad Y_P = \frac{b \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (5.33)$$

Pentru calculul cotei Z_P se vor folosi relațiile:

sau

$$\begin{aligned} h_A &= s_1 \operatorname{tg} \beta'; \quad h_B = s_2 \operatorname{tg} \beta'' \\ h_A &= \frac{b \sin \alpha_2 \operatorname{tg} \beta'}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad h_B = \frac{b \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \operatorname{tg} \beta'' \end{aligned} \quad (5.34)$$

În cazul punctelor bine definite, relațiile de calcul pot fi programate pentru calcul automatizat. Pentru obținerea unor valori corecte trebuie să existe pe obiectul real puncte reper cu ajutorul cărora se vor determina unghiurile de convergență σ_1 și σ_2 .

Pentru o precizie ridicată este indicată orizontalizarea perfectă a axei de fotografiere și o bună centrare a aparatului în punctele de stație.

Convergența extremă. În cazul obiectelor foarte apropiate de bază, când $\frac{Y}{b} < 1$, pentru determinare se folosește convergența extremă. Practic în acest caz unghiurile de convergență $\sigma_1 = \sigma_2 = 200^\circ$. În fig. XV.101 se observă:

$$\frac{Y}{X} = \frac{x'}{f}; \quad \frac{Y}{b-X} = \frac{x''}{f} \quad (5.35)$$

sau

$$\frac{x'X}{f} = \frac{x''(b-X)}{f} \quad (5.36)$$

$$X(x' + x'') = x''b$$

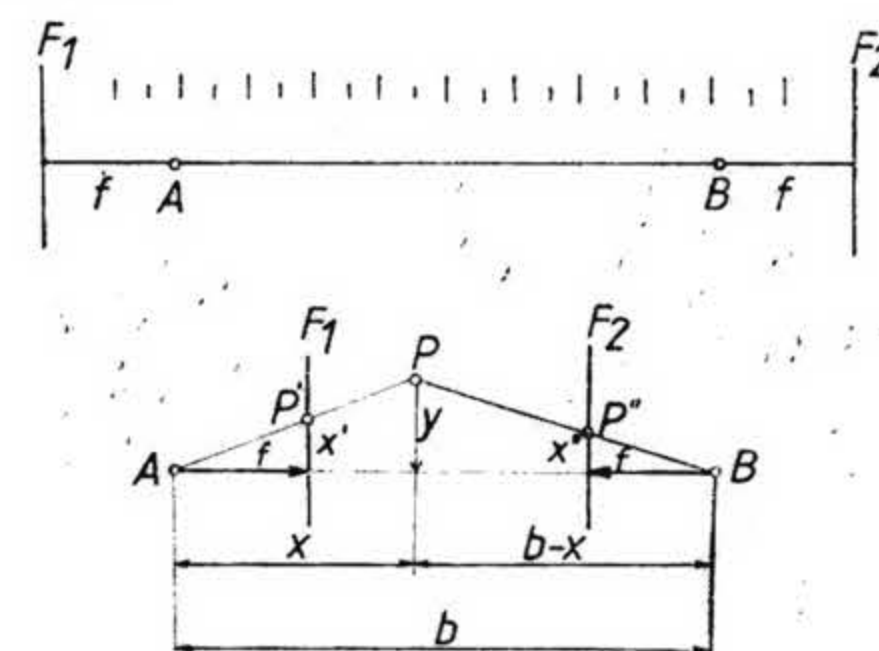


Fig. XV.101. Convergența extremă.

de unde

$$X = \frac{x''b}{x' + x''} \quad (5.37)$$

Înlocuind în relația (5.35) se obține relația lui Y

$$Y = \frac{x'}{f} \cdot \frac{x''b}{x' + x''} \quad \text{și} \quad Z = \frac{z'}{f} \cdot \frac{bx'}{x' + x''} \quad (5.38)$$

Stereofotogrammetria terestră. Metoda stereofotogrammetriei se folosește atunci când obiectul real se află la o distanță mare de baza de fotografiere, iar numărul punctelor de determinat este foarte mare. Pentru ca fotografiile să redea modelul spațial, trebuie să îndeplinească condițiile vederii stereoscopice, respectiv axele de fotografiere să fie riguros paralele între ele, iar între imagini să existe paralaxă stereoscopică ($p = x' - x''$). În general, axele de fotografiere sunt orizontale, ele pot fi însă și înclinate sub un unghi oarecare ω . După modul cum sunt orientate axele de fotografiere față de bază, deosebim în stereofotogrammetria terestră (fig. XV.102): cazul normal și cazul paralel deviat.

Cazul normal. Este cazul cel mai frecvent în practică. Axele de fotografiere sunt orizontale paralele și perpendiculare la bază. Coordonatele punctelor obiectului real se determină cu relațiile din (fig. XV.103):

$$Y_P = \frac{bf}{p} \quad (5.39)$$

$$X_P = \frac{bx'}{p} = \frac{Y}{f} x' \quad (5.40)$$

$$Z_P = \frac{bz'}{p} = \frac{Y}{f} z' \quad (5.41)$$

unde: $\frac{1}{m} = \frac{f}{Y}$ este scara modelului (5.42)

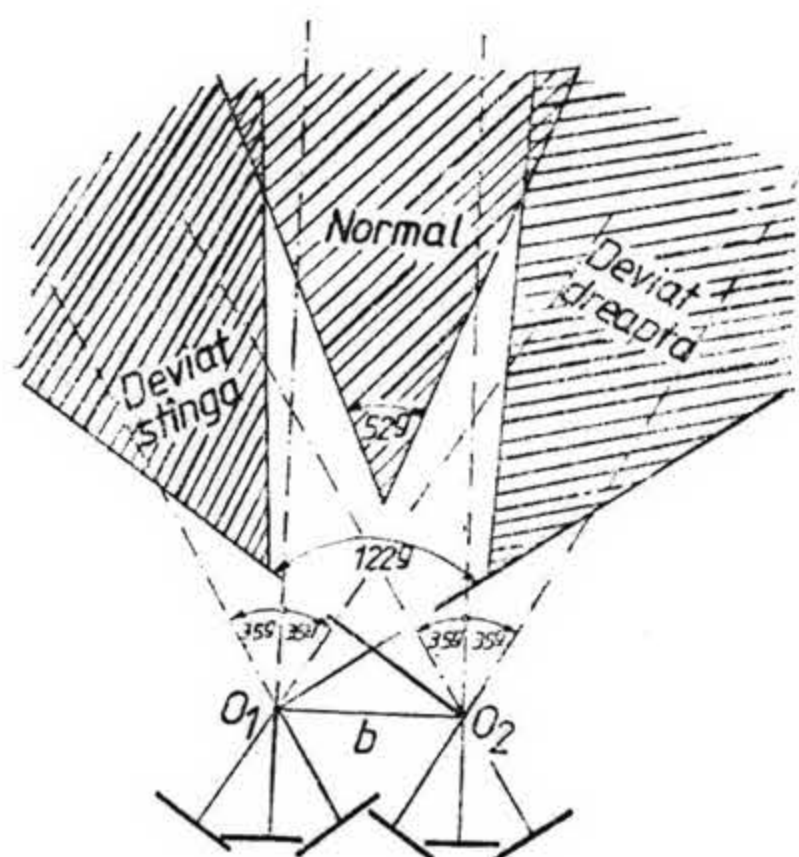


Fig. XV.102. Cîmpul de vedere al fototeodolitului pentru cazul normal și paralel deviat.

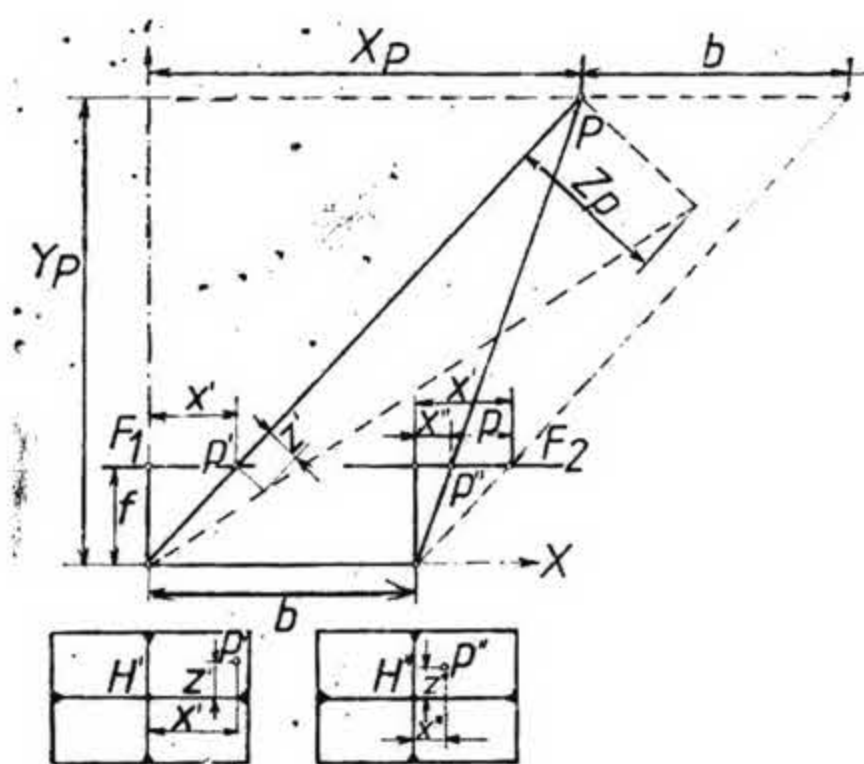


Fig. XV.103. Cazul normal al stereofotogrammetriei terestre.

Cazul paralel deviat. Acest caz se folosește în stereofotogrammetria terestră pentru creșterea cîmpului de fotografiere. Axele de fotografiere sînt paralele, orizontale, paralele între ele, dar deviate în același sens față de normala la bază cu un unghi φ (fig. XV. 104). Mărimea unghiului de deviere este în funcție de unghiul de cîmp al obiectivului fotogrammetric. Este de remarcat că la creșterea unghiului de deviere ($\varphi = 50^\circ - 60^\circ$) scade raportul $\frac{b'}{Y}$, ceea ce influențează negativ restituția și precizia de determinare.

Pentru fototeodolitul Photeo 19/1318, $\varphi = 35^\circ$, cu această valoare a devierii, fotografiile se suprapun peste cele normale și măresc unghiul de vedere al camerei la 125° pentru un punct de stație. În cazul fotografierii cu obiective grandangular se poate renunța la fotografierea paralel deviată.

Relațiile de calcul a coordonatelor punctelor din spațiul real vor fi, conform figurii XV. 104 :

$$Y = \frac{f}{p} \left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \sin \varphi \right)$$

$$X = \frac{Y}{f} x' = \frac{x'}{f} \left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \cos \varphi \right) \quad (5.43)$$

$$Z = \frac{Y}{f} z' = \frac{z'}{f} \left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \sin \varphi \right)$$

$$b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \sin \varphi = b' \quad (5.44)$$

poartă denumirea de bază de lucru sau efectivă.

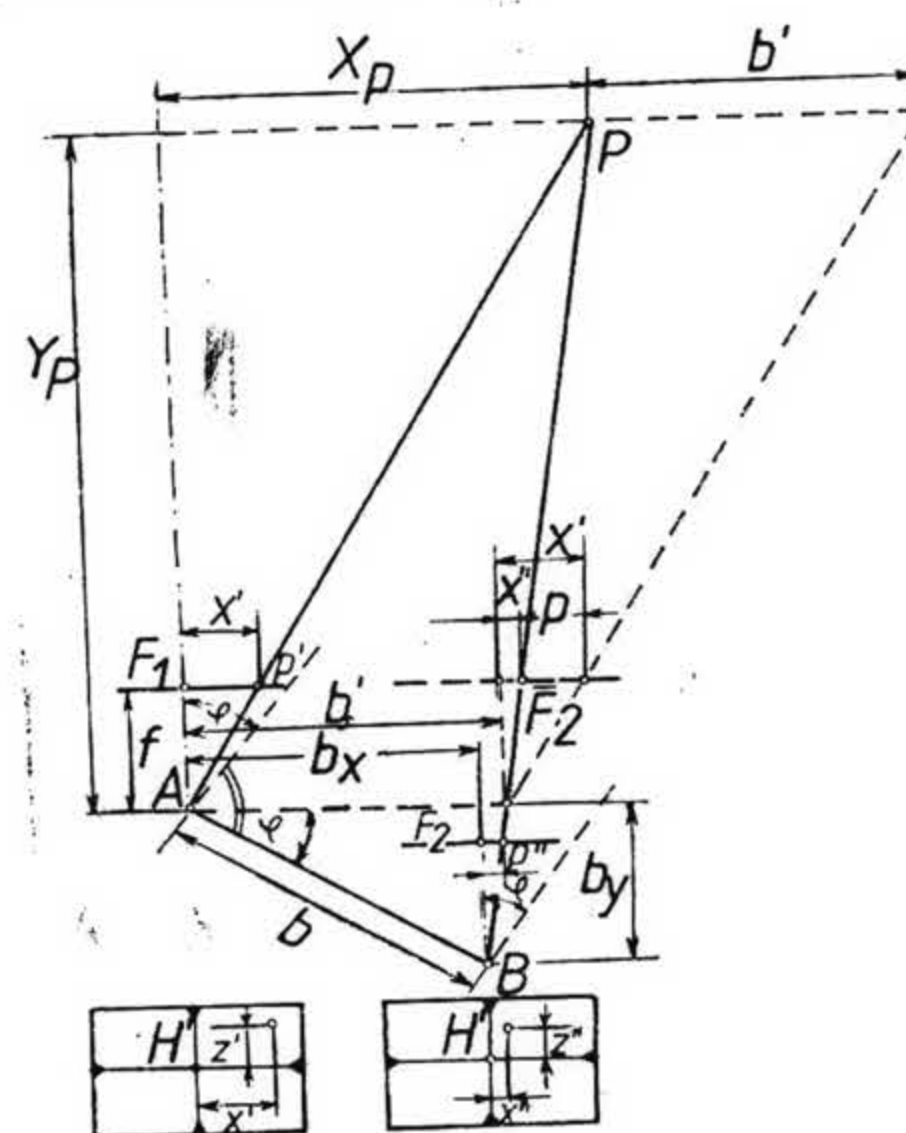


Fig. XV. 104. Cazul deviat al stereofotogrammetriei terestre.

Semnul + sau - se ia în funcție de felul devierii și anume: + pentru devierea dreaptă și - pentru stînga. Fotografiile deviate se efectuează legat de cele normale la bază.

Cazul înclinat. Considerăm caz înclinat în fotogrammetria terestră atunci cînd axa de fotografiere nu este orizontală, ci face un unghi $\omega \neq 0$. Coordonatele punctelor obiectului real se vor calcula conform fig. XV. 105, cu relațiile :

$$X = \frac{b}{p} x'; \quad Y = \frac{b}{p} f \left(\cos \omega \pm \frac{z'}{f} \sin \omega \right) \quad (5.45)$$

$$Z = \frac{b}{p} z' \left(\cos \omega \pm \frac{f}{z'} \sin \omega \right)$$

Aceste transformări ale coordonatelor măsurate pe fotografiile înclinate în coordonate în spațiale ale punctelor față de sistemul tridimensional normal se realizează practic prin redresare cu ajutorul unui dispozitiv anex aparatului de restituție, denumit *calculator*.

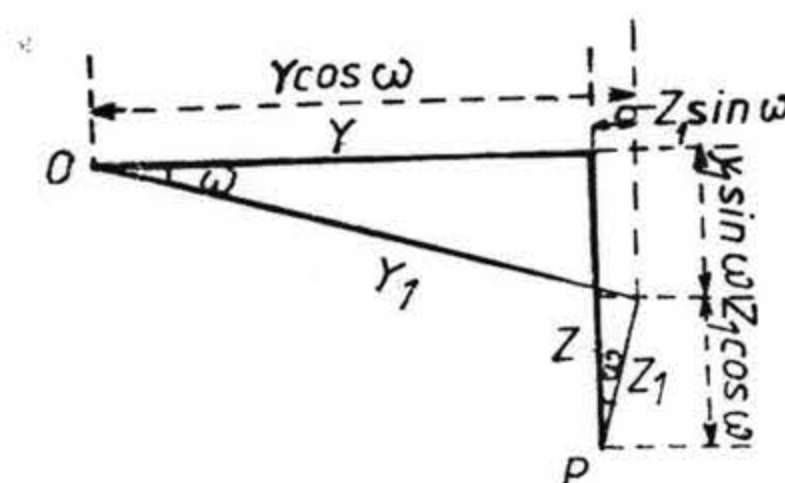


Fig. XV.105. Cazul înclinat al fotogrammetriei terestre.

de înclinare, care este interpus între restitutor și masa de desen. Cazul înclinat în fotogrammetria terestră apare tot mai mult datorită aparaturii de preluare construită pentru posibilități mai largi de folosire.

5.5.3. FOTOGRAMMETRIA PARALACTICĂ CU BAZĂ TIMP

Este o metodă relativ nouă a fotogrammetriei terestre și se batează pe măsurarea paralaxei pe fotograme singulare înregistrate consecutiv în timp și orientate identic. Cu ajutorul acestei metode se poate determina modificarea poziției punctelor obiectului în timp. Este avantajoasă pentru determinarea deformațiilor construcțiilor sau a obiectelor industriale și miniere în timp.

Pentru aceasta se vor efectua două fotografieri asupra aceluiași obiect cu aceleași elemente de orientare într-un interval de timp dat (baza de timp). Diferența de imagine a celor două fotograme executate la timpul t_1 și t_2 va constitui paralaxa stereoscopică, care va determina schimbarea poziției spațiale a punctului P_{t_1} și P_{t_2} (fig. XV. 106).

Componentele schimbării poziției punctelor obiectului paralel cu planul imagine vor fi date de relațiile:

$$\Delta X = m_1 \cdot p'_x; \Delta Z = m_1 \cdot p'_z \quad (5.46)$$

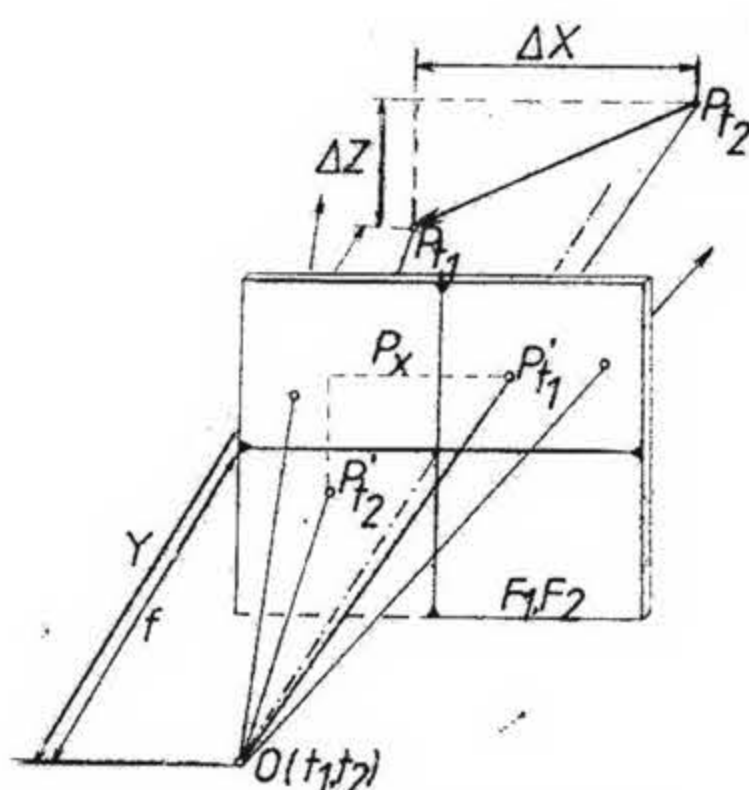


Fig. XV.106. Fotogrammetria cu bază de timp.

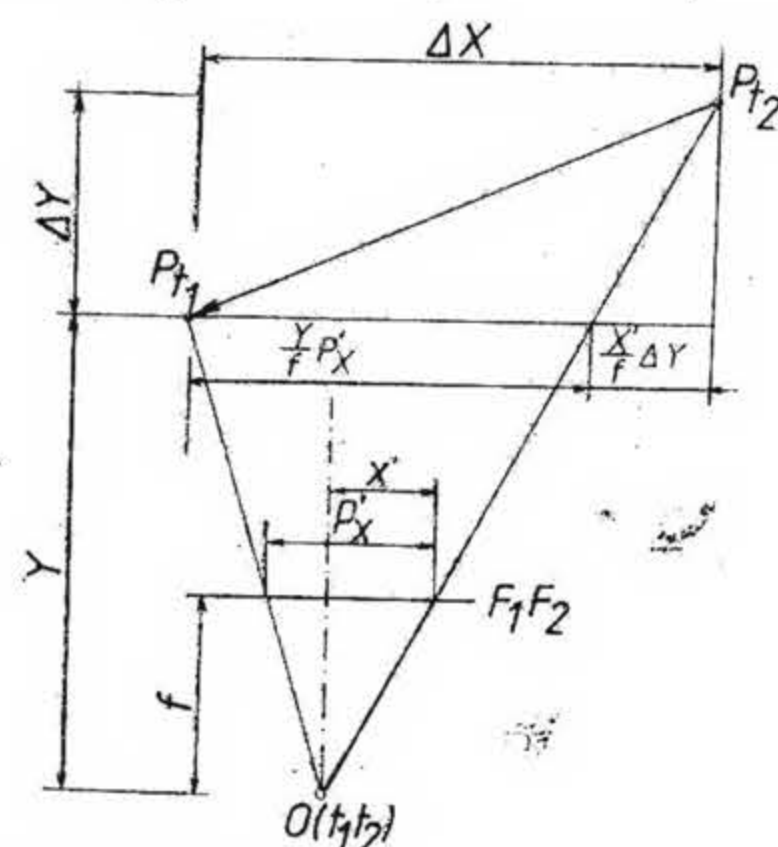


Fig. XV.107. Fotogrammetria cu bază de timp cu modificarea distanței la obiect.

În care: $m_1 = \frac{Y}{f}$ este numitorul scării imaginii; p'_x și p'_z sînt paralaxele stereoscopice pentru coordonatele fotogrammetrice x' și z' .

Mărimea acestor paralaxe se vor măsura cu ajutorul unui stereocomparator. Dacă punctele obiect își schimbă poziția și pe direcția Y, atunci componentele deplasării punctelor obiect se vor calcula cu relațiile (fig. XV. 107):

$$\Delta X = m_b p'_x + \frac{x'}{f} \Delta Y; \Delta Z = m_b p'_z + \frac{z'}{f} \Delta Y \quad (5.47)$$

5.6. APARATE DE RESTITUȚIE FOLOSITE ÎN FOTOGRAMMETRIA TERESTRĂ

Cu ajutorul aparatelor de restituție se reprezintă obiectele fotografiate pe baza măsurărilor efectuate pe fotograme. După modul de reprezentare a obiectului măsurat se împart în: *aparate de restituție analogice, aparate de restituție numerică, aparate de proiecție fotografică.*

5.6.1. APARATE DE RESTITUȚIE ANALOGICĂ

Au la bază principiul analogiei geometrice. Reconstituirea se realizează pe cale mecanică, obiectul măsurat se redă grafic la scară. Pentru restituția stereofotogramelor terestre pot fi folosite aparate de stereorestituție analogică sau aparate construite special pentru stereorestituția terestră. Această din urmă grupă de aparate este mult simplificată față de prima. În tabelul XV. 12 sînt prezentate cîteva tipuri de aparate construite numai pentru stereorestituția terestră.

Tabelul XV.12

Caracteristici tehnice ale principalelor aparate de stereorestituție terestră

Tipul aparatului	Firma constructoare	Formatul imaginii [cm]	Distanța focală [mm]	Convergența [grade]	bx. min.	Masa de desen
Tecnocartul	Zeiss-Jena	4×4—23×23	50—215	—2—6	0—240	600×800
Stereoauto-graful 1318	Zeiss-Jena	13×18	157—198	—2—5	0—60	800×800
Terragraph	Zeiss-Oberkochen	9×12	52—67	—	0—50	120×120
Autograf A40	Wild — Elveția	9×12	54—100	—	—	—

Tecnocartul. Este cel mai recent aparat de stereorestituție terestră construit de firma VEB Carl Zeiss Jena R.D.G. (fig. XV. 108). Tehnocartul permite restituția fotogramelor de toate formatele pînă la 23×23 cm, sub formă de negative sau pozitive pe suport de sticlă sau hîrtie și cu distanțe focale cuprinse între 50 și 215 m.

Restituie, de asemenea, stereograme normale, paralele deviate și înclinate. În acest ultim caz folosește un calculator de înclinare. Restituția grafică se efectuează pe o masă

de desen. Raportul de transmisie al aparatului la masa de desen poate fi schimbat în 21 scări între 0,16 și 6,25 ori. Cartografierea se realizează în trei plane de proiecție XY , XZ , YZ .

Tehnocartul este construit pe principiul paralelogramului Zeiss, cu rezolvare mecanică analogă pentru fiecare cameră de proiecție a imaginii. Stereorestituitorul are posibilitatea restituirii numerice, pentru care este prevăzut cu niște contoare numerice divi-

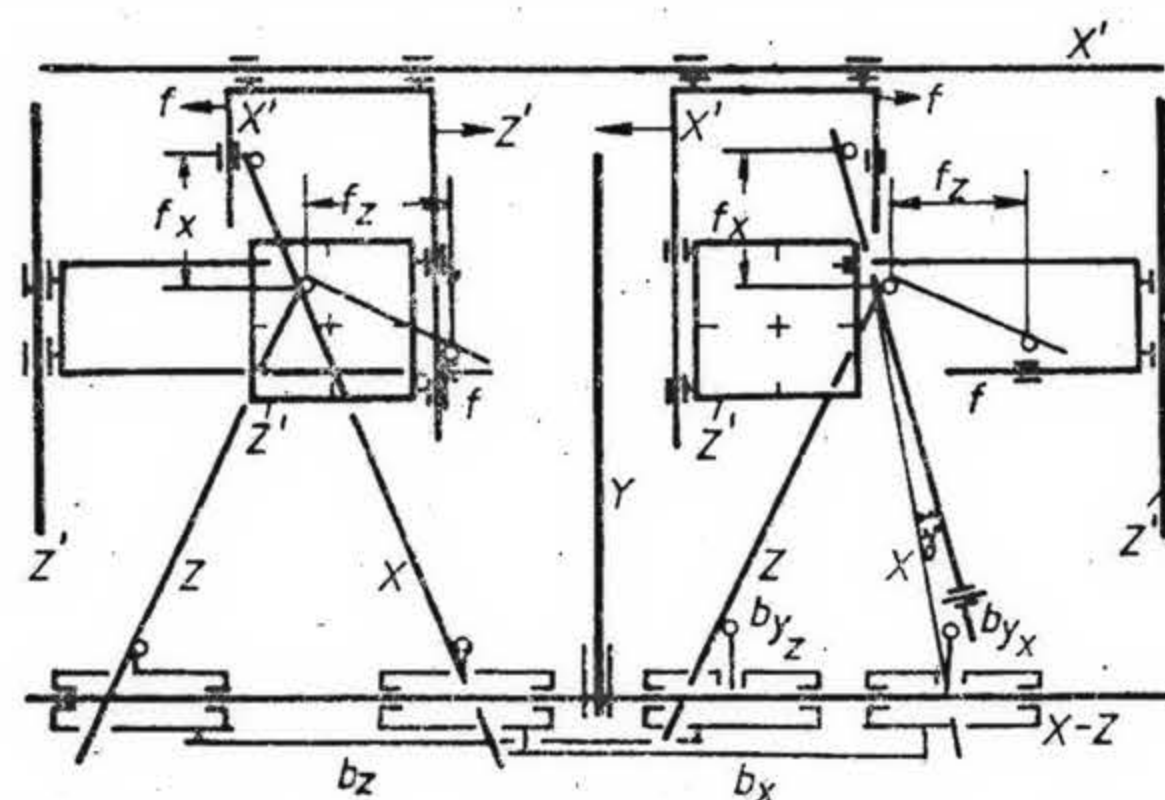


Fig. XV.108. Schema de principiu a tehnocartului.

zate. Restituția numerică servește pentru determinarea punctelor individuale. Coordonatele acestor puncte pot fi înregistrate de un coordimetru și afișate pe benzi cu ajutorul unei mașini de scris.

Restituția la tehnocart. Pentru a restitui un cuplu stereoscopic cu ajutorul unui aparat de stereorestituție, trebuie ca acesta să fie orientat în apratul respectiv. Orientarea stereogramelor, așa cum s-a arătat în 5.2.4., cuprinde orientarea interioară și exterioară care, la rândul ei, este relativă și absolută.

Orientarea interioară se realizează prin introducerea distanței focale a obiectivului aparatului de prelucrare la cele patru contoare c_k ale restituitorului, cu o precizie de 0,02 mm, iar punctul principal al fotogramelor prin suprapunerea reperelor fotogrammetrice ale fotogramelor pe axele portclîșeelor aparatului de restituție.

După efectuarea orientării interioare, pentru a obține modelul stereoscopic la o scară dorită, se realizează orientarea exterioară relativă, care constă în introducerea componentei bazei de fotografiere în aparat. Scara modelului se alege în funcție de depărtarea y_{max} și y_{min} de fotografiere și posibilitatea de deplasare a axei pe direcția Y' a aparatului și de scara de restituție, astfel ca să poată fi restituite cît mai multe puncte.

$$m_m = \frac{y_{max}}{y'_{max}} ; \quad m_m = \frac{y_{min}}{y'_{min}} \quad (5.48)$$

Astfel pentru $y_{max} = 700$ m și $y_{min} = 140$ m

$$m_m = \frac{700}{0,35} = 2000 \quad \text{respectiv} \quad m_m = \frac{140}{0,035} = 4000$$

Deci scara modelului poate fi aleasă între 1:2000 și 1:4000. Componentele bazei se calculează cu relațiile:

— pentru cazul normal:

$$b_x = \frac{b}{m_m} ; \quad b_z = \frac{h}{m_m} \quad (5.49 \text{ a})$$

— pentru cazul paralel deviat:

$$b_x = \frac{b \cos \varphi}{m_m} ; \quad b_y = \frac{b \sin \varphi}{m_m} ; \quad b_z = \frac{h}{m_m} \quad (5.49 \text{ b})$$

în care: b este baza de fotografiere; h — diferența de cote dintre capetele bazei; φ — unghiul de deviere.

Orientarea exterioară absolută se realizează cu ajutorul reperelor fotogrammetrice a căror coordonate geodezice sînt cunoscute. Aceste puncte de reper se raportează pe planșa de pe masa de desen la scara de restituție. După ce au fost stabilite și introduse la stereorestituitor și la masa de desen, roțile dințate pentru transformarea scării modelului la scara de restituție se puntează pe modelul stereoscopic cu *marca reper* unul din repere, iar trasorul de la masa de desen se va conduce pe punctul corespunzător pe planșă. Se puntează apoi un alt punct al modelului, iar planșa se va roti în jurul primului punct pînă cînd punctul corespunzător de pe planșă va veni sub dispozitivul trasor. Pentru control se va proceda în același mod și pentru alte repere.

Pentru introducerea originii pentru cote se puntează un reper fotogrammetric și menținînd marca pe punct (la nivelul terenului) se introduce la contoarul de cote valoarea cotei geodezice a punctului respectiv. Se puntează apoi alt reper de cotă cunoscută și se compară cu cele geodezice, diferențele între cote nu trebuie să depășească ± 10 cm.

Pe planșele astfel orientate se vor trasa elementele de planimetrie sau relieful terenului. Obținerea restituirii în planul de proiecție dorit depinde de modul de conectare a masei de desen la direcțiile de deplasare a stereorestituitorului.

5.6.2. APARATE DE RESTITUȚIE NUMERICĂ

Sînt aparatele care redau obiectul sub forma unor puncte de coordonate spațiale cunoscute. Pentru determinarea coordonatelor spațiale se efectuează măsurători pe imaginile fotografice cu ajutorul mono sau stereocomparatorilor. Printr-o prelucrare pur numerică, cu ajutorul relațiilor stabilite în § 5.5.2.2. se obțin coordonatele spațiale ale modelului sub forma unui inventar de coordonate. Coordonatele punctelor modelului se transformă în coordonate geodezice cu ajutorul relațiilor (5.53). Pentru restituția fotogramelor terestre, firma Zeiss Jena a construit stereocomparatorul Steko 18×18. Aparatul permite măsurarea punct cu punct a modelului stereoscopic cu o precizie de 0,01 mm și cu o precizie de 0,005 mm a paralaxelor.

5.6.3. APARATE DE RESTITUȚIE ANALITICĂ

Pe baza rezultatelor măsurătorilor efectuate pe imaginile fotografice, coordonatele modelului stereoscopic și coordonatele geodezice, coordonatele modelului stereoscopic și coordonatele geodezice ale punctelor se calculează cu ajutorul calculatoarelor electronice

Din această categorie de aparate fac parte: Analiticul Plotter AP/1, AP-2, AS-11, produse de firma OMI Italia și Beudix Corporation.

Aceste aparate se folosesc pentru măsurători de precizie la scări mari, eficiența lor economică fiind condiționată de posibilitatea automatizării întregului flux de operații. Noile aparate automatizate se caracterizează prin faptul că nu se mai apelează la operatorul uman pentru efectuarea identificării punctelor omoloage, ci se efectuează automat cu ajutorul unui *corelator de imagini*.

5.6.4. APARATE CU PROIECȚIE FOTOGRAFICĂ

Fotograma, imagine fotografică metrică, în proiecție centrală este o reprezentare analogică a obiectului măsurat. Datorită acestui fapt ea poate fi prelucrată prin proiecție fotografică pentru a fi transformată la scara dorită. Transformarea la scară se poate realiza cu ajutorul aparatelor de mărit cu caracteristici tehnice adecvate negativului. Dacă axa de fotografiere n-a fost perpendiculară pe obiectul fotografiat, transformarea acesteia într-o fotogramă nedeformată se realizează prin fotoredresare cu ajutorul unor aparate special construite acestui scop.

5.7. ERORI ÎN DETERMINAREA COORDONATELOR PUNCTELOR SPAȚIALE

5.7.1 DETERMINAREA ERORILOR

Coordonatele spațiale ale punctelor din spațiul obiect depind de elemente măsurate direct, elemente ce sînt influențate de erori. Cunoașterea acestor erori este necesară pentru corectarea rezultatelor obținute, fie prin impunerea unor condiții de lucru, fie prin alegerea unei aparaturi adecvate care să asigure sau să ridice precizia în determinarea coordonatelor.

Pornind de la relațiile (5.39)–(5.41) ce exprimă coordonatele unui punct în cazul normal al fotogrammetriei terestre, prin diferențierea acestora se obține:

$$dY = \frac{Y}{f} db + \frac{Y}{f} df - \frac{Y^2}{bf} dp \quad (5.50)$$

$$dX = \frac{X}{Y} dx + \frac{X}{x'} dx' - \frac{X}{f} df \quad (5.51)$$

$$dZ = \frac{Z}{Y} dy + \frac{Z}{z'} dz' - \frac{Z}{f} df \quad (5.52)$$

Din relația (5.50) se observă că influența cea mai mare asupra determinării lui Y o are ultimul termen datorită exponentului pătratic. Analizînd acest termen se vede că eroarea de măsurare a paralaxei este afectată de măsurarea celor două coor-

donate fotogrammetrice x' și x'' care, la rîndul lor, sînt afectate de elementele de orientare interioară și exterioară a fotogramelor. În tabelul XV.13 sînt date erorile de măsurare ce influențează asupra erorii ΔY , precum și proveniența acestora.

Se vede, de asemenea, că eroarea lui Y este invers proporțională cu mărimea bazei și a distanței focale, deci pentru obținerea unor erori mici vor fi optime bazele mari și aparatele de fotografiat cu distanțe focale mari. Din analiza relațiilor (5.51) și

Tabelul XV.13

Erori de măsurare ce influențează asupra erorii ΔY

Natura erorii	Simbol	Mărimea erorii
Eroarea datorită punctului principal H'	dx'_H, dx''_H	$\frac{Y^2}{bf} (dx'_H - dx''_H)$
Eroarea de distanță focală	df_1, df_2	$\frac{Y}{bf} [X(df_1 - df_2) + bdf_2]$
Eroarea de bază	db	$\frac{Y}{b} db$
Eroarea de orientare a axelor de fotografiere	$d\varphi_1, d\varphi_2$	$\frac{Y^2 + X^2}{b} d\varphi_1 - \frac{Y^2 + (X-b)^2}{b} d\varphi_2$
	$d\omega_1, d\omega_2$	$\frac{Z}{b} [X(d\omega_2 - d\omega_1) - b d\omega_2]$
	dx_1, dx_2	$\frac{XY}{b} (dx_2 - dx_1)$

(5.52) rezultă că eroarea ΔY intervine și în determinarea erorilor pentru coordonatele X și Z .

5.7.2 CORECTAREA ERORILOR

Influența erorilor mai sus arătate asupra modelului poate fi stabilită cunoscînd în spațiul modelului, coordonatele spațiale ale unor puncte bine definite și identificabile care să fie înregistrate prin fotografiere pe cuplu stereoscopic. Comparînd aceste coordonate adevărate ale punctelor reper cu coordonatele lor obținute prin restituție se oferă un control și un mijloc de ameliorare a elementelor de orientare exterioară și interioară. Cu aceste îmbunătățiri ale elementelor de orientare se vor calcula coordonatele punctelor din spațiul obiect.

5.7.3. TRANSCALCULAREA COORDONATELOR SPAȚIALE XY ÎN SISTEMUL GEODEZIC \bar{X}, \bar{Y}

Pentru transcalcularea coordonatelor spațiale în sistemul topografic \bar{X}, \bar{Y} (fig. XV.109) se folosesc următoarele grupuri de relații:

Transformarea Helmert transcalculează la scară coordonatele X și Y . Se folosește pentru $n > 2$.

$$X = ax + by + C_1 = a\Delta x + b\Delta y + X_S \quad (5.53)$$

$$Y = bx + ay + C_2 = b\Delta x + a\Delta y + Y_S$$

unde: n este numărul punctelor de transformare; a, b — coeficienți de transformare; C_1, C_2 — coeficienți de deplasare a originii sistemului spațial XY .

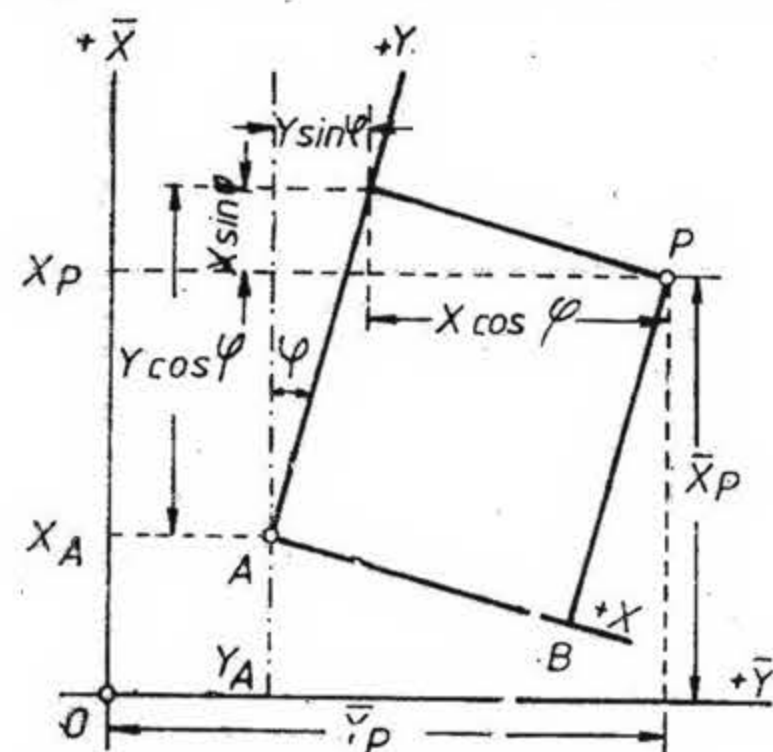


Fig. XV.109. Transcalcularea coordonatelor spațiale ale modelului stereoscopic în coordonate geodezice.

Transformarea afină se folosește pentru $n > 3$. Cu această transformare, erorile sistematice pot fi mai bine corectate.

$$\begin{aligned} \bar{X} &= a_1X + b_1Y + C_1 = a_1X + b_1Y + \bar{X}_S \\ \bar{Y} &= a_2X + b_2Y + C_2 = a_2X + b_2Y + \bar{Y}_S \end{aligned} \quad (5.58)$$

$$a_1 = \frac{(\Delta x_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta y_i \cdot \Delta Y_i) - (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta Y_i)}{(\Delta x_i \cdot \Delta x_i)(\Delta y_i \cdot \Delta y_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta y_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)} = \frac{A_1}{N}$$

$$b_1 = \frac{(\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{B_1}{N} \quad (5.59)$$

$$a_2 = \frac{(\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{A_2}{N}$$

$$b_2 = \frac{(\Delta x_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta y_i \cdot \Delta y_i) - (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{B_2}{N}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= X_S - a_1X_S + b_1Y_S \\ C_2 &= Y_S - a_2X_S - b_2Y_S \end{aligned} \quad (5.60)$$

$$a = \frac{(\Delta X_i \cdot \Delta \bar{X}_i) + (\Delta Y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)}{(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) + (\Delta y_i \cdot \Delta y_i)} = \frac{A}{N}$$

$$b = \frac{(\Delta X_i \cdot \Delta \bar{Y}_i) + (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{X}_i)}{(\Delta X_i \cdot \Delta X_i) + (\Delta Y_i \cdot \Delta Y_i)} = \frac{B}{N} \quad (5.54)$$

$$C_1 = \bar{X}_S - aX_S + bY_S; C_2 = \bar{Y}_S - aY_S - bY_S \quad (5.55)$$

$$\bar{X}_S = \frac{(\bar{X}_i)}{n}; \quad \bar{Y}_S = \frac{(\bar{Y}_i)}{n}$$

$$X_S = \frac{(X_i)}{n}; \quad Y_S = \frac{(Y_i)}{n} \quad (5.56)$$

$$\begin{aligned} \Delta X_i &= X_i - X_S; \quad \Delta Y_i = Y_i - Y_S \\ \Delta \bar{X}_i &= \bar{X}_i - \bar{X}_S; \quad \Delta \bar{Y}_i = \bar{Y}_i - \bar{Y}_S \end{aligned} \quad (5.57)$$

unde: $\bar{X}_i, \bar{Y}_i; X_i, Y_i$ sînt coordonatele punctelor reper în cele două sisteme.

5.8. LUCRĂRI DE TEREN ÎN FOTOGRAMMETRIA TERESTRĂ

În vederea stabilirii elementelor de orientare exterioară a fotogramelor este necesară întocmirea unui proiect de fotografiere care constă în următoarele operații:

— delimitarea zonei sau a obiectului de fotografiat;

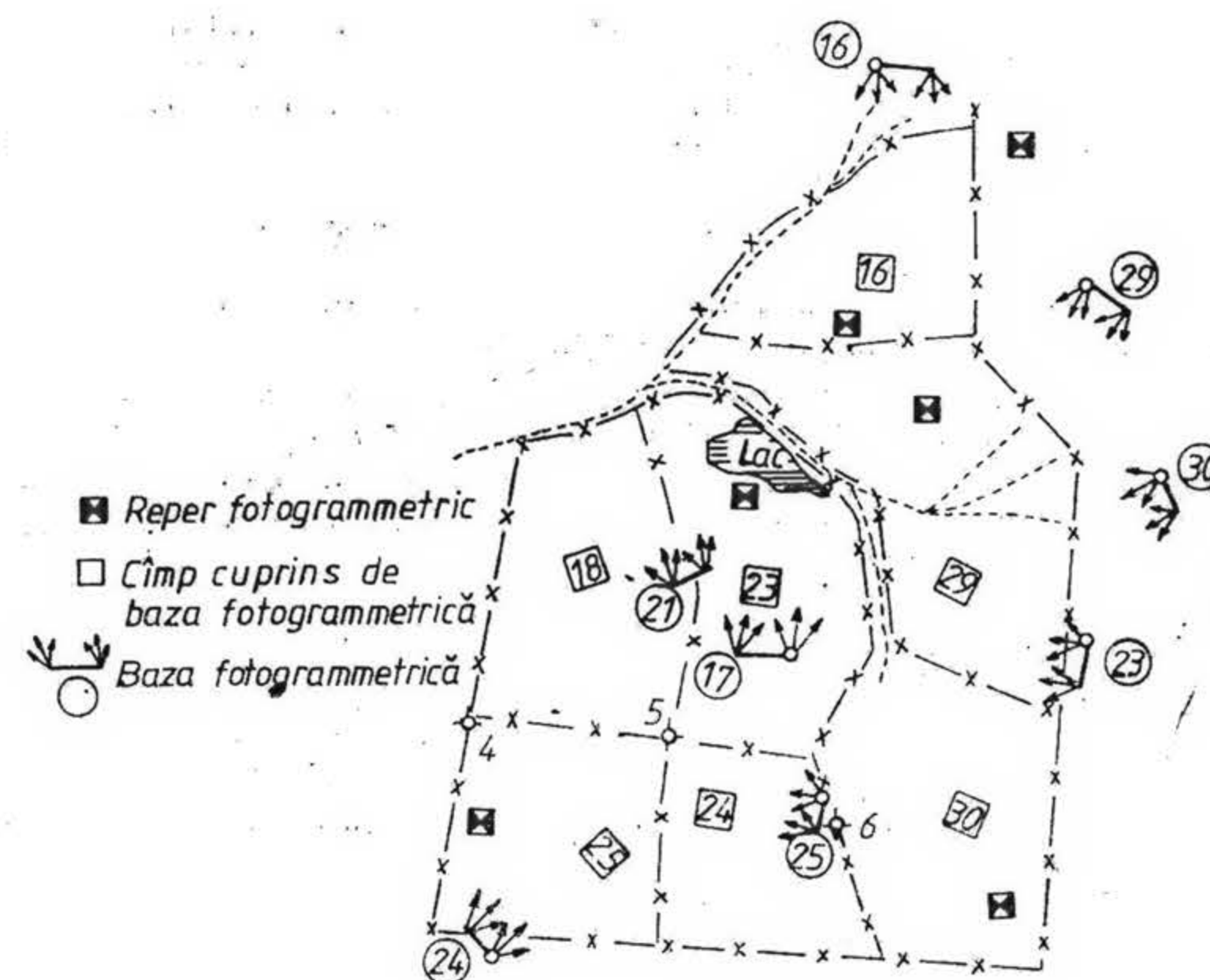


Fig. XV.110. Proiect de fotografiere.

- alegerea aparaturii de fotografiere și a metodei de lucru;
- stabilirea punctelor de stație și a bazelor de fotografiere;
- stabilirea punctelor de reper și amplasarea lor;
- legarea punctelor de capăt ale stației și ale punctelor de reper din rețeaua geodezică existentă, în vederea orientării exterioare a fotogramelor (fig. XV.110).

După efectuarea acestor operații, proiectul se definitivează prin recunoașterea terenului și se poate trece la fotografierea propriu-zisă. Zona sau obiectul de fotografiat se delimitează fie pe planuri și hărți, dacă acestea există inițial, sau prin recunoașterea lor în teren. Scopul acestei operații este de a stabili dimensiunea câmpului de fotografiere (funcție de care se alege camera de fotografiat), amplasarea bazelor de fotografiere în vederea racordării fotogramelor, amplasarea reperajului și în final soluția de fotografiere.

În alegerea metodei de lucru, a aparaturii de preluare și prelucrare a fotografiilor, în stabilirea și determinarea bazelor de fotografiere se pleacă de la precizia necesară pentru reprezentarea obiectului.

5.8.1. STABILIREA PUNCTELOR DE STAȚIE ȘI A BAZELOR FOTOGRAMMETRICE

Punctele de stație din care se efectuează fotografierea, constituind prin coordonatele lor elemente de orientare exterioară, vor trebui să fie puncte stabile și bine determinate. Odată cu stabilirea punctelor de bază trebuie stabilite bazele de fotografiere. Alegerea locului de amplasare a bazei este condiționată de satisfacerea următoarelor condiții:

— se va ține seama ca din bază să se permită fotografierea unor porțiuni cât mai mari și fără zone ascunse;

— baza de fotografiere să fie amplasată paralel cu direcția principală a obiectului, pentru a se evita deformările de convergență;

— depărtarea bazei de fotografiere față de obiect se alege în funcție de scara de redactare, de materialul fotosensibil utilizat și de condițiile de vizibilitate;

— lungimea bazei se alege în raport cu depărtarea maximă și minimă față de obiectul măsurat, încât să se obțină o precizie necesară măsurătorii.

Ținând seama de relațiile:

$$Y = \frac{bf}{p} \quad \text{și} \quad \frac{dY}{Y} = - \frac{Y}{b} \cdot \frac{dp}{f}$$

și de faptul că aparatele de restituție au o eroare de determinare a paralaxei de 0,01 mm, cu un aparat de preluare cu $f = 200$, pentru a obține o eroare în determinarea lui Y de 1:1000 va rezulta:

$$\frac{b_{min}}{Y_{max}} = - \frac{Y}{dY} \cdot \frac{dp}{f} = 1000 \cdot \frac{0,01}{200} = - \frac{1}{20}$$

sau

$$b_{min} \geq \frac{1}{20} Y_{max}$$

Pentru o paralaxă stereoscopică de 40—50 mm ce se realizează prin fotografiere cu fototeodolitul Photo 19/1318

$$b_{max} = \frac{50}{200} Y = \frac{1}{4} \dots \frac{1}{5} Y$$

Deci pentru un fototeodolit cu $f = 200$ mm baza de fotografiere trebuie cuprinsă

$$\frac{Y_{max}}{20} \leq b \leq \frac{Y_{min}}{4} \quad (5.61)$$

La stabilirea lungimii bazei, în afară de valoarea paralaxei și a preciziei de determinare, trebuie să se mai țină seama și de scara de redactare. Amplasarea bazelor se face în așa fel încât cîmpul de fotografiere să acopere zona de măsurat, ca să nu rămână goluri în măsurători. Atunci cînd pentru preluarea unui obiect este nevoie de mai multe baze, este indicat a se amplasa baze legate între ele (fig. XV.111).

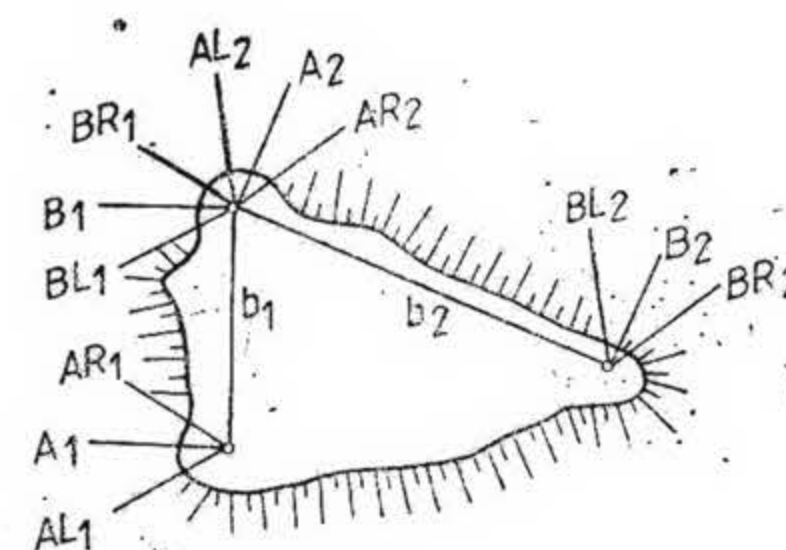


Fig. XV.111. Amplasarea bazelor fotogrammetrice legate.

Trebuie avută în vedere, la amplasare, atât condiția de vizibilitate din punctele de stație către zona de fotografiat, cât și vizibilitatea reciprocă între punctele de stație. La stabilirea punctelor de capăt ale bazei trebuie să se țină seama ca diferența de nivel dintre ele să fie $\Delta h \leq \frac{1}{5} b$. Lungimea bazei se măsoară direct cu ruleta cînd este mai

mică de 50 m, sau cu mira de invar. Măsurarea se efectuează de 3—6 ori, pentru a se asigura o precizie în măsurare de 1/10 000—1/20 000.

În funcție de dispunerea obiectului de fotografiat, de depărtarea lui față de bază, se vor stabili camera de fotografiat (fototeodolitul sau camere stereometrice) și metode de lucru (stereofotogrammetria sau intersecția). La alegerea tipului de aparat se va ține seama de caracteristicile tehnice ale acestora (tabelele XV.10 și XV.11).

5.8.2. REPERAJUL FOTOGRAMMETRIC

Atît controlul elementelor de orientare exterioară și a preciziei de determinare cît și legarea sistemului de coordonate fotogrammetrice cu sistemul de referință geodezic se fac prin punctele de reper. Dispunerea punctelor de reper se face conform proiectului și a posibilității de legare a acestor puncte de punctele geodezice existente. Practic pentru fiecare bază de fotografiere sînt necesare 4 puncte de reper dispuse pe întreg cîmpul de fotografiere. Cel puțin un punct trebuie să fie comun atît preluărilor normale cît și celor deviate stînga și dreapta. De asemenea, este nevoie ca să existe repere comune bazelor vecine, pentru a se putea realiza racordarea stereogramelor (fig. XV.112).

Reperele fotogrammetrice se materializează, în funcție de durabilitatea lucrărilor, prin țărui de lemn sau oțel, iar semnalizarea lor se face cu panouri vopsite bicolor (albastru marin și galben citrin). Forma și dimensiunile panourilor depind de forma și depărtarea obiectului de stație (fig. XV.113).

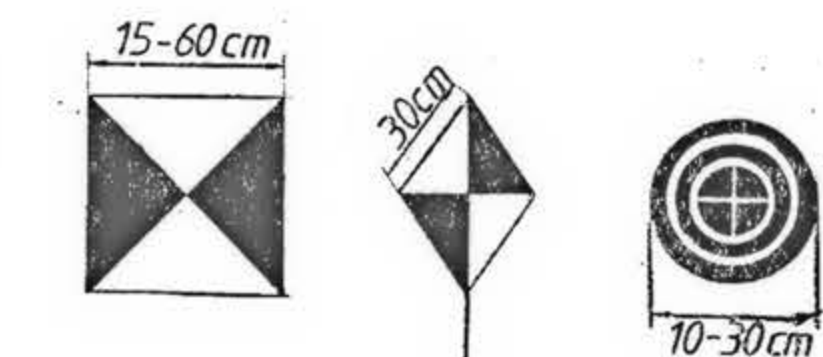
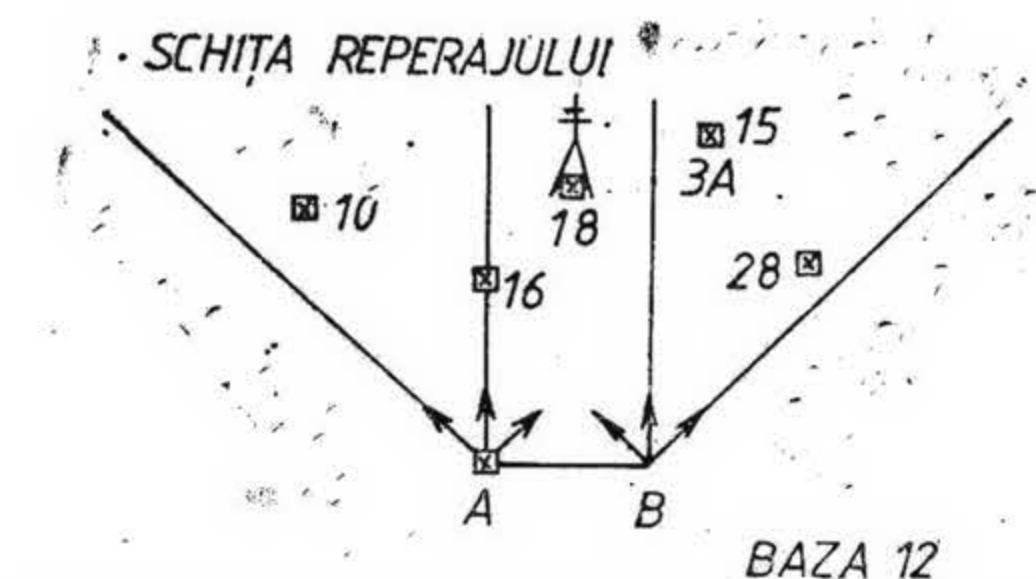


Fig. XV.112. Amplasarea reperelor foto-grammetrice față de baza de foto-grafiere.

	AL	A	AR	BL	B	BR
Orizont de fotografiere	-15	-15	-15	-15	-15	-15
Orientarea axelor de foto	65/265	100/300	135/335	265/65	300/100	335/135
Timp de expunere	20 ^s	20 ^s	20 ^s	20 ^s	20 ^s	20 ^s
Caseta	2	1	3	5	4	6
Înălțime aparat		12				

Fig. XV.113. Tipuri de repere foto-grammetrice.

5.8.3. LEGAREA PUNCTELOR DE CAPĂT ALE BAZEI FOTOGRAMMETRICE ȘI A PUNCTELOR DE CONTROL LA REȚEAUA GEODEZICĂ

Determinarea coordonatelor spațiale ale punctelor de reper se face prin metode geodezo-topografice cunoscute, în funcție de configurația terenului, a numărului și dispunerii acestor puncte. Printre metodele mai des utilizate sînt intersecțiile în cazul punctelor dispărute și a poligonatilor (drumuirii) în cazul cînd punctele sînt amplasate în apropiere unul față de celălalt.

Pentru determinarea cotelor punctelor de stație și de reper se folosește nivelul geometric. La determinarea coordonatelor geodezice ale reperelor și a punctelor de control trebuie să se țină seama de precizia cerută, de scopul pentru care se execută lucrările de reperaj. În consecință, metoda de determinare trebuie aleasă în funcție de această precizie.

După ce aceste operații au fost efectuate, se trece la executarea fotografiilor. Fotografierea este operația de mare răspundere care contribuie la calitatea întregii lucrări de măsurare. Orice greșală sau neglijență este o sursă de erori și conduce la refacerea fotografiierii. De aceea, în efectuarea fotografiierii trebuie să se țină seama de următoarele condiții:

- fotografierea să se efectueze în momentul celei mai bune iluminări a obiectului;
- timpul de expunere să fie corect stabilit, avînd în vedere sensibilitatea emulsiei fotosensibile 1—5 DIN;
- menținerea pe tot timpul fotografiierii a axei de fotografiere riguros orizontală și perpendiculară pe planul imagine (verificarea miretelor);

— menținerea orientării axelor de fotografiere.

În cazul executării din două puncte de stație ale bazei de fotografiere, se va ține seama ca fotografierea să se facă în aceleași condiții de iluminare. Datele necesare exploatarei fotogramelor se vor trece într-un tabel de date (fig. XV.112).

5.9. REZOLVAREA UNOR PROBLEME TOPOGRAFICE PRIN METODE FOTOGRAMMETRICE

5.9.1. MĂSURAREA VOLUMELOR EXCAVATE ÎN CARIERE

Utilizarea metodelor fotogrammetrice în determinarea volumelor excavate în cariere este motivată de avantajele pe care le oferă această metodă comparativ cu cele clasice:

- fidelitatea planului de situație al carierei și al profilelor excavate;
- randamentul ridicat al măsurătorilor.

Distingem următoarele procedee de determinare a volumelor excavate:

- procedeul rețelilor orizontale;
- procedeul rețelilor verticale;
- procedeul secțiunilor orizontale;
- procedeul secțiunilor verticale.

Alegerea procedurii este în funcție de zona de amplasare a carierei, de înălțimea treptei, de situația reliefului din jur. Oricare ar fi procedeul ales pentru culegerea informațiilor, este necesar a se stabili o stație de măsurare. Stația de măsurare constă în stabilirea pe teren a bazelor de fotografiere, a punctelor de control fixe și mobile necesare orientării absolute. Se recomandă stabilirea unui număr minim de baze. Poziția lor să fie stabilă și fixă pe tot timpul măsurătorilor. Pentru ca restituția să se efectueze simplu, se indică ca bazele să fie paralele cu frontul de lucru.

Atît punctele de capăt ale bazelor cît și punctele de reper se determină prin metode topografice în sistemul de referință al carierei sau într-un sistem de referință ales. Pentru determinarea periodică a volumelor se efectuează înregistrarea fotografică asupra zonelor excavate, cu ajutorul fototeodolitelor, în diferite perioade. Reperele fixe se semnalizează la fiecare înregistrare, preluarea efectuîndu-se din aceleași puncte de stație.

Ca metode de prelucrare a înregistrărilor se folosește stereorestituția analogică sau numerică. Pe baza stereofotogramelor, cu ajutorul aparatului de restituție se obține planul de situație al carierei la scara convenabilă, care conține treptele carierei, cotele de nivel ale fiecărei trepte, drumurile de acces.

Procedeul rețelilor orizontale constă în elaborarea modelului numeric al terenului și al zonei excavate (fig. XV.114).

Volumul excavat se calculează cu relația:

$$V = S \sum_{i=1}^n h_i \quad (5.62)$$

în care: S este suprafața totală a zonei excavate; h_i — cota medie a punctelor rețelei.

Această suprafață se determină prin metode topografice cunoscute pe planul de situație al terenului.

Volumul excavat într-un interval de timp este dat de diferența de volum dintre două determinări succesive:

$$\Delta V = V_{t1} - V_{t2}$$

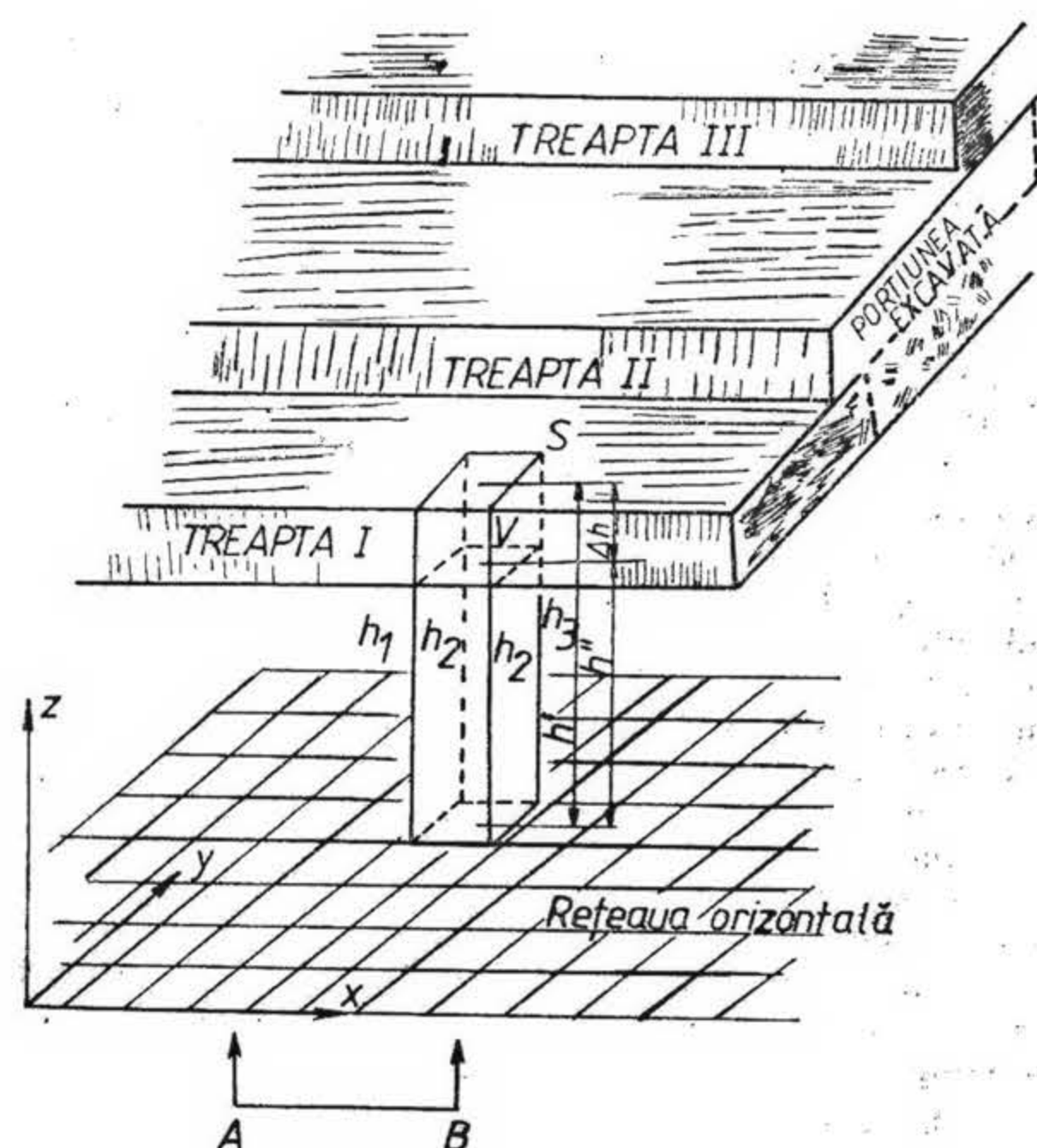


Fig. XV.114. Principiul rețelei orizontale.

Cu planul de situație orientat pe masa coordonatografică prin punctele de reper și cu masa de desen cuplată la aparatul de restituție pentru proiecția xy , se pun ctează nodurile, iar pe modelul stereoscopic se citește la tamburcota z a punctelor respective.

Procedul rețelelor verticale. Este asemănător procedului anterior. Rețeaua verticală se obține prin împărțirea planului vertical XZ în rețea de pătrate. Acest plan trebuie să fie paralel cu baza de fotografiere. Elementul variabil este depărta rea Y , care se va citi la aparatul de restituție (fig. XV.115).

$$V = S \sum_{i=1}^n y_i \quad (5.63)$$

Volumul excavat într-un interval de timp va fi dat de diferența volumelor obținute la două momente de măsurare. Cele două procedee au o serie de dezavantaje în organizarea lucrărilor și nu au o maximă operativitate în lucru.

Procedul secțiunilor orizontale. Constă în secționarea corpului cu plane de secționare orizontale echidistante (fig. XV.116).

Între aceste două secțiuni se formează cite un corp fictiv elementar. Urmele acestui corp inclus pe secțiunile plane care îl delimitează sînt poligoane închise a căror arie se poate calcula analitic sau grafic.

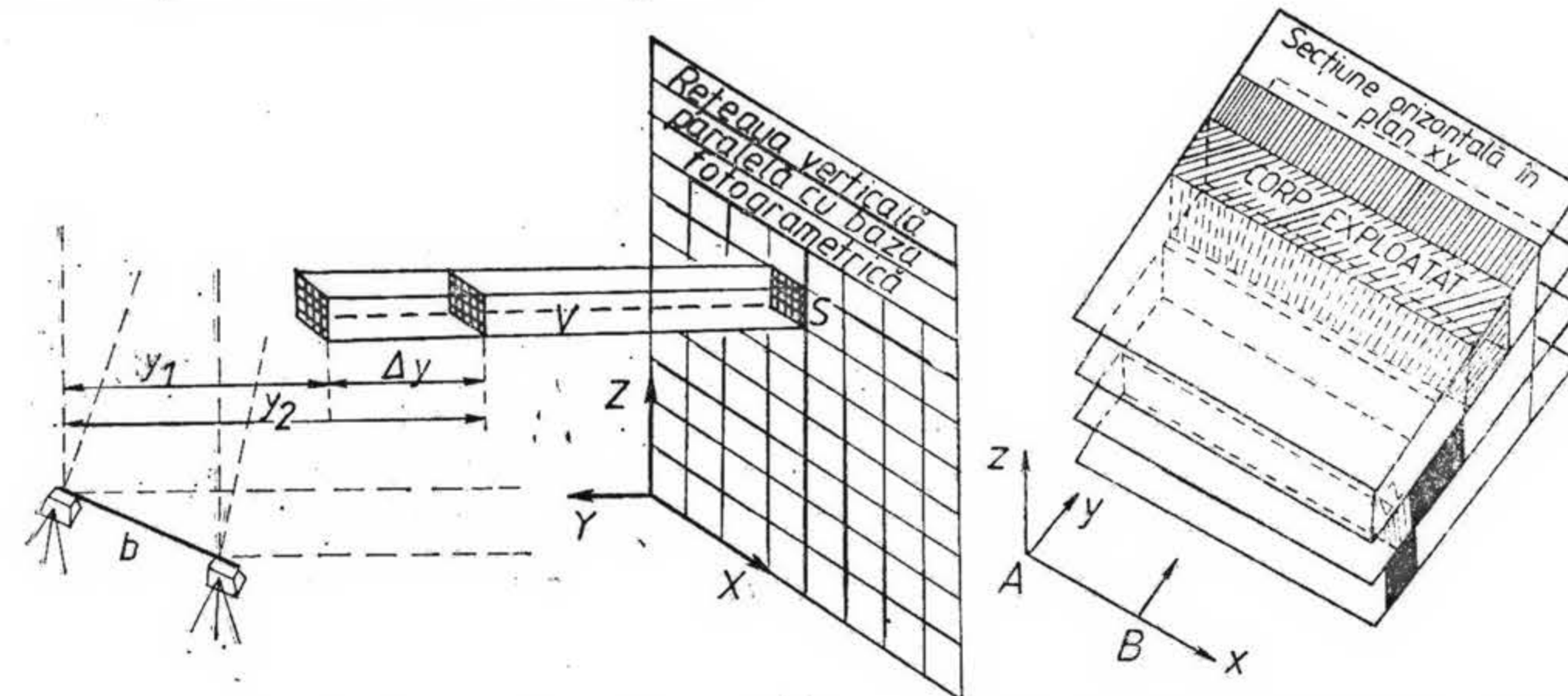


Fig. XV.115. Principiul rețelei verticale.

Fig. XV.116. Principiul secțiunilor orizontale.

Volumul excavat delimitat de două secțiuni se calculează cu una din relațiile:

$$V_i = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot d \quad (5.64 a)$$

sau

$$V_i = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} \cdot d \quad (5.64 b)$$

în care: S_1, S_2 sînt ariile secțiunilor; d este echidistanța între secțiuni.

Relația (5.64 a) se folosește cînd S_1 și S_2 au valori apropiate, iar relația (5.64 b) cînd ariile secțiunilor sînt diferite.

Pentru operativitate în calcul se alege un sistem de coordonate particular, cu axa X perpendiculară cu frontul de lucru, iar axa Y pe direcția de înaintare. În acest caz volumul total va fi:

$$V_t = \Delta Z \frac{[S_1 + S_2 + 2(S_2 + \dots + S_{n-1})]}{2} \quad (5.65 a)$$

sau

$$V_t = \frac{\Delta Z}{3} [(S_1 + S_n + 2(S_2 + \dots + S_{n-1})) + \sqrt{S_1 S_2} + \dots + \sqrt{S_{n-1} S_n}] \quad (5.65 b)$$

Din relațiile de mai sus se constată că ΔZ este constant, iar ariile suprafețelor sînt variabile. Calculul suprafețelor reprezintă operația cea mai laborioasă și mai pretențioasă, de aceea trebuie să i se acorde toată atenția.

Pentru calculul ariilor fiecărei secțiuni se recomandă folosirea relației:

$$2S = X_{ij}(Y_{ij+1} - Y_{ij-1}) \quad (5.66)$$

care poate fi programată pentru calcul automatizat, sau poate fi determinată prin metode grafice.

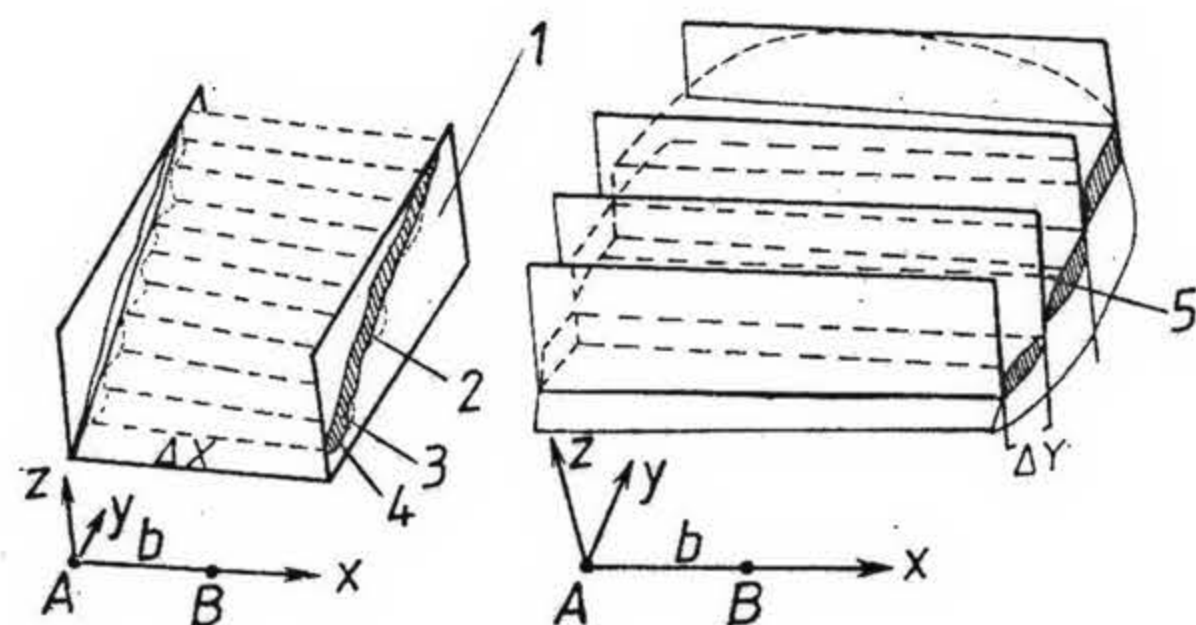


Fig. XV.117. Principiul secțiunilor verticale:

1 — secțiune verticală în planul YZ; 2 — treaptă proiectată; 3 — situația excavației; 4 — teren; 5 — corp exploatat.

Metoda secțiunilor orizontale se aplică în cazul exploatării cu trepte uniforme desfășurate pe lungime. ΔZ poate fi considerat tocmai înălțimea treptei de exploatare.

Procedeul secțiunilor verticale. Aceste secțiuni pot fi perpendiculare pe frontul de lucru (fig. XV.117) și paralele cu frontul de lucru. Procedeul de măsurare și calcul este asemănător cu metoda mai sus amintită, că elementele constante vor fi ΔX pentru planele de secționare perpendiculare pe front sau ΔY pentru planele paralele la front.

$$V_t = \Delta X \frac{[S_1 + S_n + 2(S_2 + \dots + S_{n-1})]}{2} \quad (5.67)$$

$$V_t = \Delta Y \frac{[S_1 + S_n + 2(S_2 + \dots + S_{n-1})]}{2} \quad (5.68)$$

Procedeul secțiunilor are avantajul că permite calculul volumelor separat pe trepte. Ariile și respectiv volumele se pot determina pentru fiecare material în parte, pe util și steril. Volumul excavat se însumează apoi defalcat pe trepte și materiale, după care se însumează obținându-se volumul total.

5.9.2. MĂSURAREA DEPOZITELOR DE STERIL

Măsurarea haldelor de steril constă în urmărirea stabilității acestora, a taluzelor și în determinarea cantității depozitate. Pentru aceasta, pe baza înregistrărilor fotografice periodice se redactează și completează periodic planul topografic la scara 1:1000. Pentru realizarea fotogramelor se stabilește o bază de observație din bază de prelucrare și puncte de reper ce trebuie să îndeplinească condițiile stabilite în § 5.8.1 (fig. XV.118).

Urmărirea stabilității haldei constă în măsurarea unghiurilor de taluz deformate și a influenței haldei asupra terenului înconjurat. Volumul de steril depozitat se stabilește prin metoda rețelei orizontale sau a secțiunilor (§ 5.9.1).

Măsurarea iazurilor de decantare are ca scop determinarea înălțimii acestora, deplasărilor pe orizontală a digurilor iazului și a volumului decantat. În acest sens, din puncte de stație stabile și determinate se efectuează fotograme, prin prelucrarea, cărora se obține planul de situație al iazului de decantare la scara convenabilă 1:1000 (fig. XV.119). Volumul depozitat se determină printr-unul din procedeele cunoscute de calcul a volumelor.

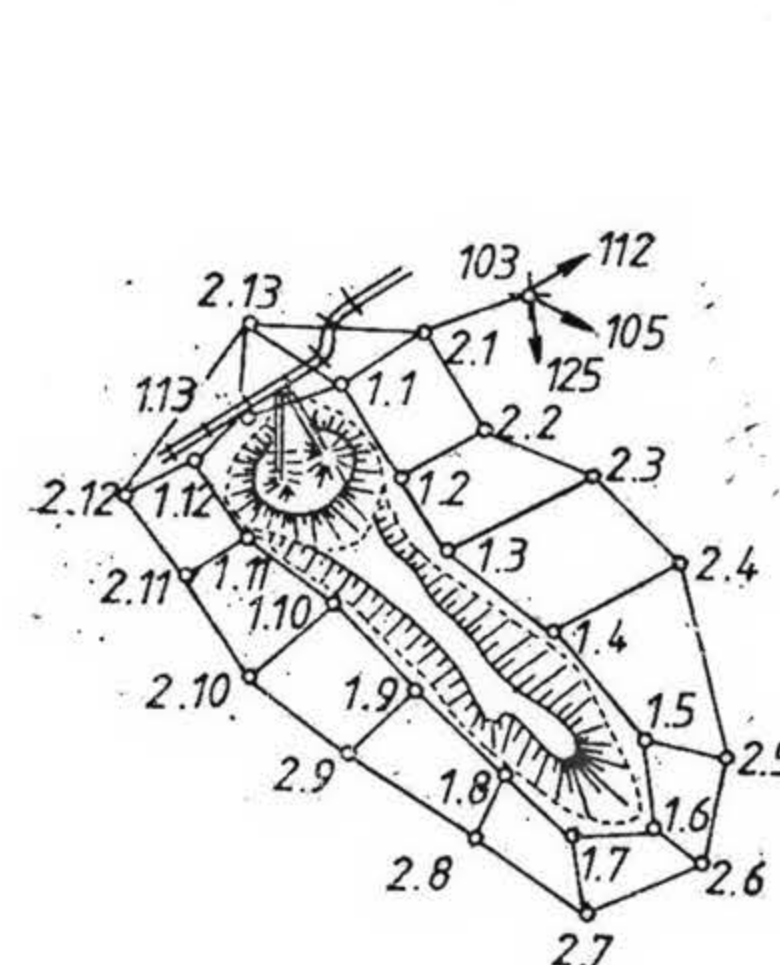


Fig. XV.118. Stația de urmărire a depozitelor de steril.

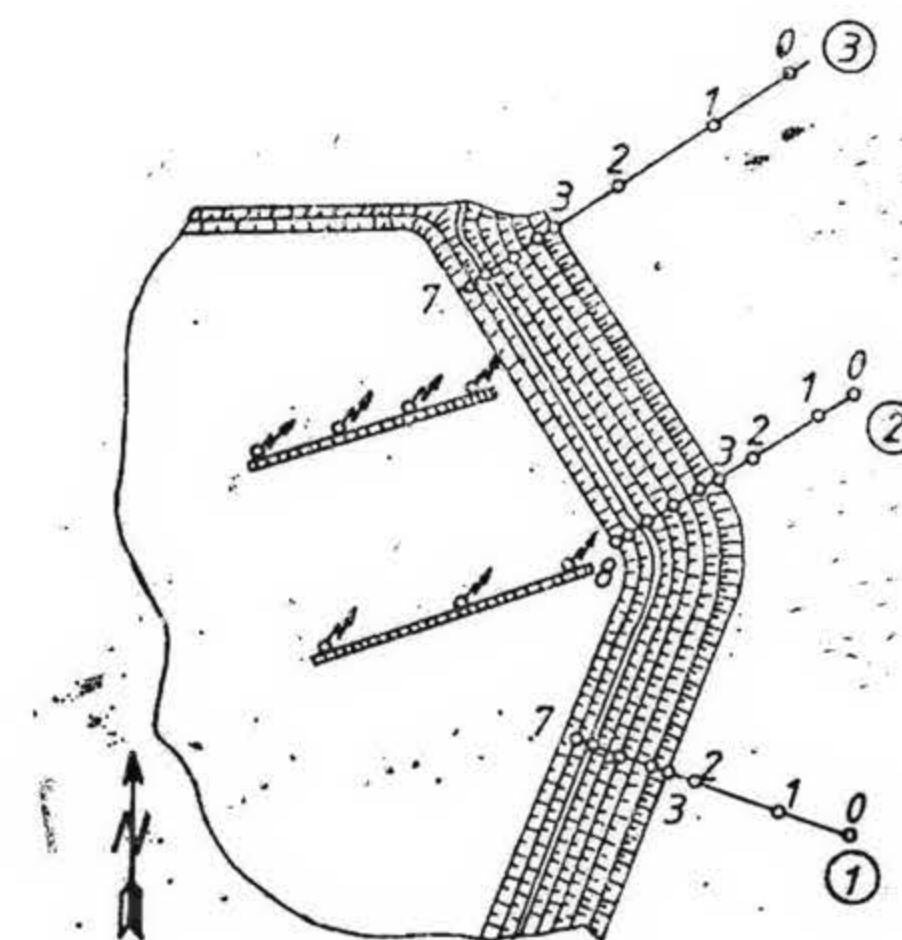


Fig. XV.119. Stația de urmărire a iazurilor de decantare.

Urmărirea periodică a deplasărilor se face prin stații special amenajate, care constau din repere amplasate pe aliniamente, pe digul iazului și continuate pînă în afară, în teren stabil. Determinarea punctelor de stație și a punctelor de reper se determină prin metode topografice. Bazele de fotografiere trebuie amplasate perpendicular pe aliniament. Pentru reducerea numărului de puncte determinate topografic, un capăt al bazei poate fi considerat reper fix al aliniamentului.

Constatarea deplasării digurilor de decantare se face prin compararea cotelor punctelor reper la fiecare determinare și a distanțelor dintre punctele reper. Reprezentarea acestor deplasări se realizează în planul YZ pentru cote și în plan XY pentru deplasări orizontale.

5.9.3. MĂSURAREA ALBIILOR DE SCUFUNDARE

Scopul măsurării albiilor de scufundare este studierea deplasării rocilor ca urmare a exploatării subterane. Datorită aspectului pe care îl prezintă uneori albiile de scufundare — cu pante mari neuniforme, cu pereți abrupti, crăpături, adinci, urmărirea acestora se poate face numai prin metoda fotogrammetrică (fig. XV.120).

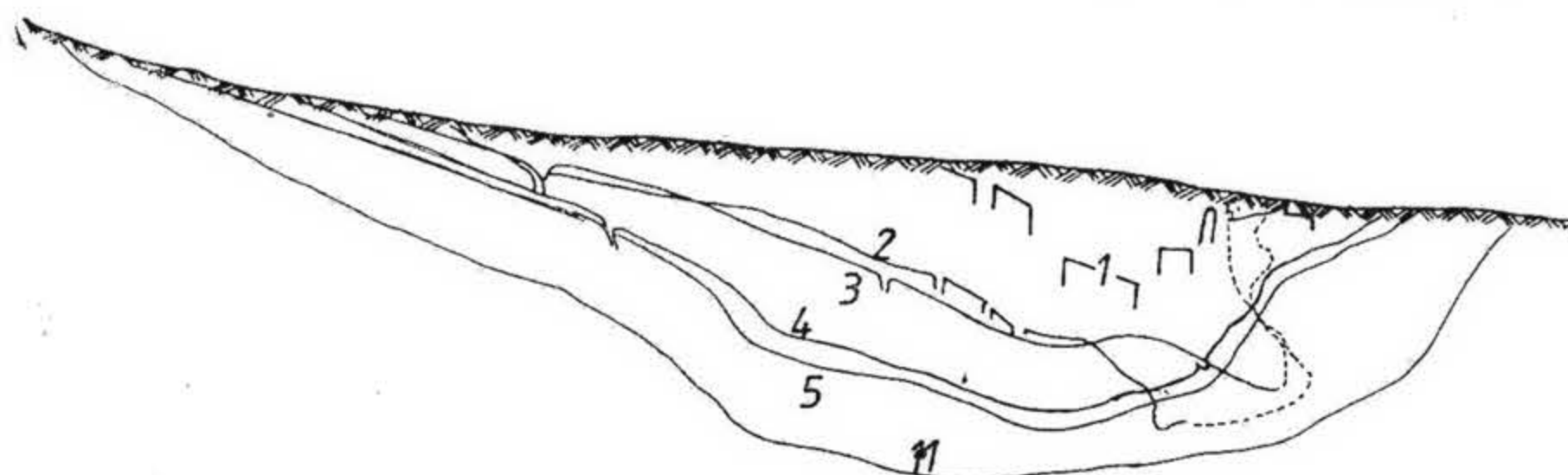


Fig. XV.120. Secțiune printr-o albie de scufundare.

Pentru urmărirea albiei de scufundare este necesar a se fixa o stație de observație care constă în stabilirea și amplasarea bazelor fotogrammetrice în puncte fixe dispuse în afara zonei de influență și puncte de reper amplasate atât în zona de influență cât și în locuri stabile. Punctele stației de observație se determină atât din punct de vedere planimetric cât și altimetric, prin metode ale topografiei clasice, ele folosind la orientarea exterioară a prelucrării fotogramelor. Prin prelucrarea fotogramelor se obțin, pe cale fotogrammetrică, la un aparat de restituție:

- planul de situație al albiei de scufundare la o scară convenabilă;
- secțiuni direcționale și transversale prin albia de scufundare.

Evoluția în timp a albiei de scufundare este determinată prin urmărirea periodică a acesteia. Înregistrările fotografice se efectuează din aceleași puncte de stație, iar punctele de reper fixe se mențin aceleași pe toată durata măsurătorilor.

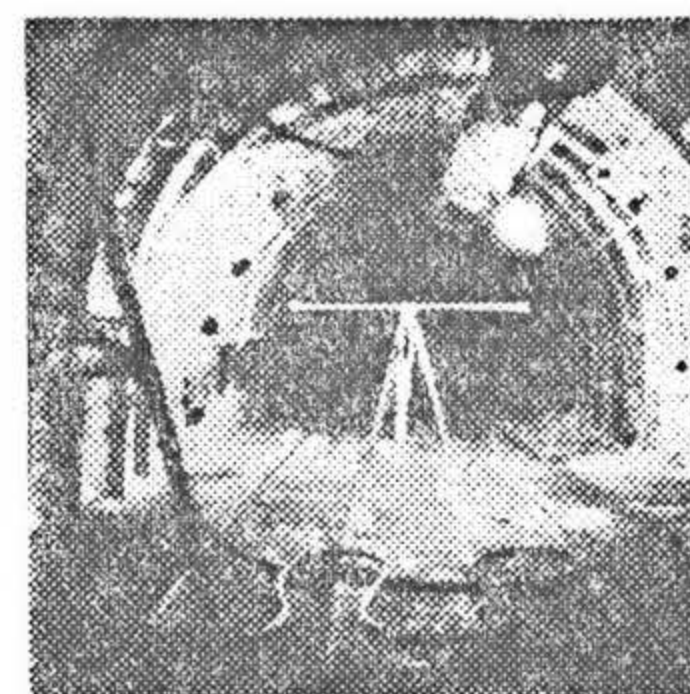
5.9.4. MĂSURĂTORI ÎN SUBTERAN

Folosirea fotogrammetriei în subteran este relativ nouă, fiind utilizată ca procedeu pentru măsurători în cazuri speciale. Din cauza unor dificultăți în iluminarea obiectelor de fotografiat, a spațiilor restrânse și a vizibilității reduse, până în prezent nu s-a dezvoltat pe măsura posibilității ei de aplicare.

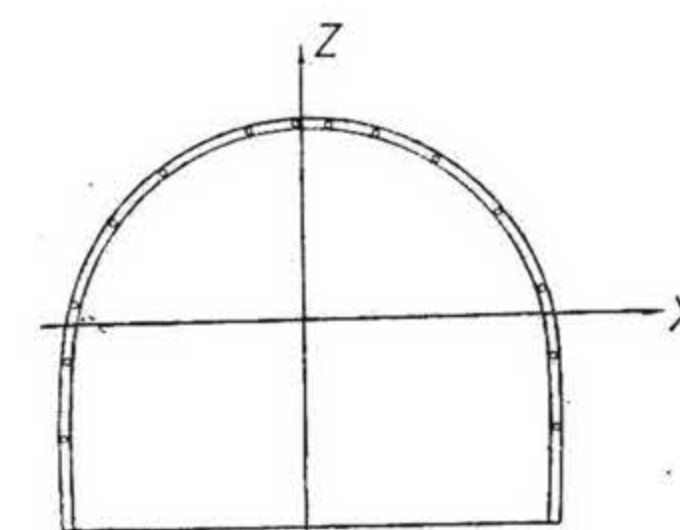
Dezvoltarea sistemelor de înregistrare a imaginilor termice folosind pelicule sensibile în infraroșu, ce pot fotografia în întuneric, va contribui la utilizarea foto-

grammetriei în subteran. De asemenea, introducerea calculatoarelor în preluarea analitică și automată a fotogramelor va dezvolta aplicarea fotogrammetriei în rezolvarea diverselor probleme subterane. În subteran, metodele fotogrammetrice sînt posibile de aplicat ținînd seama de următoarele precauții:

— datorită distanței mici între obiect și obiectiv, preluarea se face cu foto-teodolite universale, cu camere stereometrice cu baza mică sau cu aparate obișnuite etalonate. Fotografierea se face și dintr-un singur punct de stație, cu axa de foto-



a



b

Fig. XV.121. Secțiunea transversală a unei galerii.

gرافیہ orizontală și perpendiculară pe planul obiectului (planul lucrării miniere) sau două puncte de stație, numai în cazul normal al stereofotogrammetriei. Dintre aplicațiile cu rezultate mai spectaculoase reținem:

— măsurarea deformațiilor lucrărilor miniere datorită presiunii rocilor înconjurătoare;

— determinarea secțiunilor transversale ale galeriilor (fig. XV.121).

Măsurarea deformațiilor lucrărilor miniere constă în urmărirea în timp a evoluției fisurilor ce apar pe pereții lucrărilor miniere, ca urmare a presiunii rocilor înconjurătoare. Pentru aceasta este nevoie de amplasarea unor repere martori pe pereții lucrării miniere.

Avînd în vedere că depărtarea Y se menține oarecum constantă, este de preferat fotografierea dintr-un singur punct de stație. Dacă la urmărirea în timp a fisurilor se utilizează metoda măsurării paralaxelor cu baza de timp, precizia de determinare crește simțitor, deoarece se reduc măsurătorile de coordonate fotogrammetrice, rămînînd doar cercarea de măsurare a paralaxei. Restituția se face analogic sau grafic, pe planul XZ determinîndu-se deschiderea fisurii, lungimea și poziția ei.

XVI. MECANICA ROCILOR

Conf. dr. ing. CORNEL HIRIAN

Conf. dr. ing. GHEORGHE ONCIOIU

Şef lucrări dr. ing. ADRIAN TODORESCU

1. BAZELE TEORETICE ALE MECANICII ROCILOR

1.1. DEFINIȚII ȘI CONCEPTE DE BAZĂ

Un masiv de rocă este supus acțiunii a două tipuri de forțe: 1) *exterioare* și 2) *interioare*. Acțiunea forțelor exterioare asupra masivului sau orice modificare naturală, respectiv artificială, realizată în structura acestuia, care atrage după sine modificarea forțelor interioare, a pozițiilor și distanțelor dintre diferitele puncte ale lui, are drept rezultat crearea unei stări de *tensiune-deformare*. A determina o asemenea stare înseamnă a evalua în fiecare punct al masivului creșterea valorică a forțelor interioare și a deplasărilor punctelor în spațiu. Raportarea forțelor interioare la unitatea de suprafață constituie noțiunea de *tensiune*, adică:

$$p = \sigma_n = \frac{dF_i}{dA} \quad (1.1)$$

iar raportarea deplasărilor la unitatea de lungime constituie noțiunea de *deformație*:

$$\varepsilon = \frac{d\delta}{dl} \quad (1.2)$$

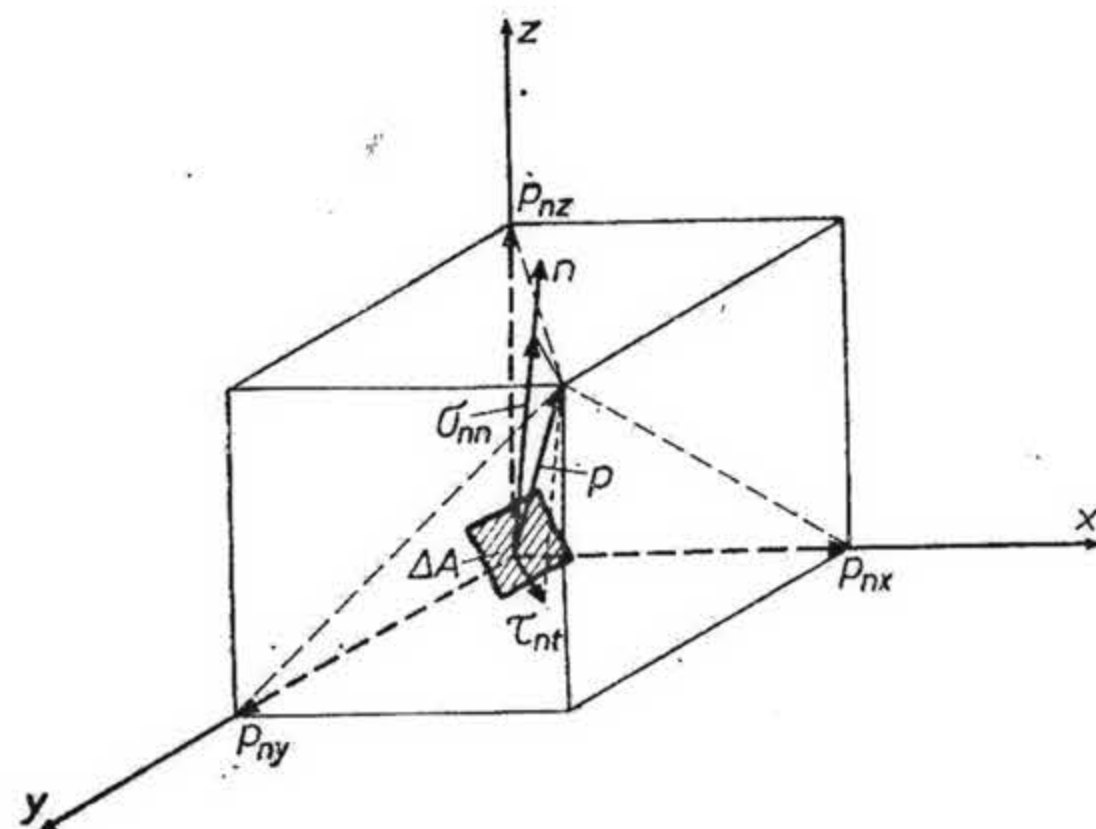


Fig. XVI.1. Definirea noțiunii de tensiune și componentele normală și de forfecare.

unde: δ — poate fi: u ; v sau w . Unitatea de măsură, conform analizei dimensionale $L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$ în SI a tensiunii este N/m^2 sau Pa, iar deformația este adimensională. Tensiunea p are două componente (fig. XVI.1) reciproc perpendiculare, una normală

σ_{nn} ce acționează după direcția normalei n și una tangențială τ_{nt} situată în planul de secționare. Trei suprafețe reciproc perpendiculare caracterizează un volum elementar și ca urmare starea de tensiune respectiv de deformare a acestuia (fig. XVI.2), sau

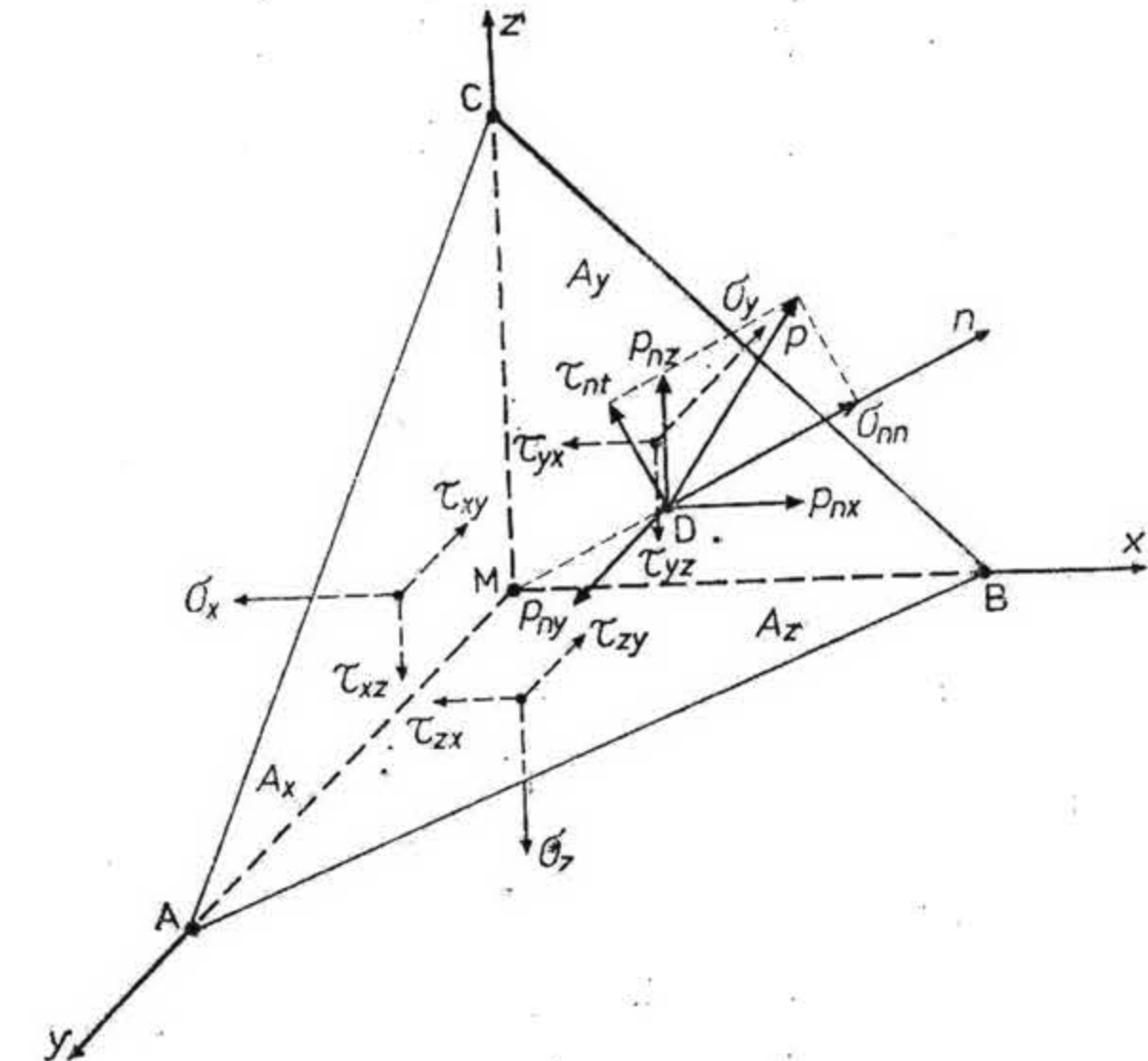


Fig. XVI.2. Starea de tensiune într-un punct.

a unui punct M , poate fi determinată de 9 componente ale tensiunilor ori a deformațiilor, care conform principiului dualității se reduc la 6. Analiza stării de tensiune sau de deformare poate fi făcută fie pe cale analitică, fie pe cale grafică.

1.1.1. ANALIZA STĂRII DE TENSIUNE SAU DE DEFORMARE PE CALE ANALITICĂ

Totalitatea tensiunilor normale și tangențiale ce corespund secțiunilor duse prin punctul M (fig. XVI.2) caracterizează starea de tensiune din jurul acestui punct. Analitic ea este definită pe deplin dacă se cunoaște tensorul tensiunii $|T_\sigma|$. Ansamblul componentelor stării de tensiune într-un punct, redată matricial, formează un tensor de ordinul II simetric — *tensorul total al stării de tensiune* — $|T_\sigma|$ a cărui expresie este redată în tabelul XVI.1. Dacă $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ este starea de tensiune din M , atunci pe orice suprafață va acționa numai o tensiune normală σ_0 , iar $\sigma_{ijk} = 0$. Tensorul corespunzător acestui caz se numește *tensor sferic* al tensiunii $|T_{\sigma_0}|$ (tabelul XVI.1) și corespunde sării prin care se poate realiza schimbarea volumului fără modificarea formei. Starea de tensiune prin care se poate schimba forma, exprimată matricial, se numește *deviatorul stării de tensiune*: $|D_\sigma| = |T_\sigma| - |T_{\sigma_0}|$. Deci o stare de tensiune este definită de o expresie de forma:

$$|T_\sigma| = |T_{\sigma_0}| + |D_\sigma| \quad (1.3)$$

Expresile tensorilor de tensiune și de deformare

Tensorul total al stării de tensiune			Tensorul total al stării de deformare		
$ T_{\sigma} = T_{\sigma 0} + D_{\sigma} $			$ T_{\varepsilon} = T_{\varepsilon 0} + D_{\varepsilon} $		
Cazul eforturilor oarecare:			Cazul deformațiilor oarecare:		
σ_x	τ_{yx}	τ_{zx}	ε_x	$\frac{1}{2}\gamma_{yx}$	$\frac{1}{2}\gamma_{zx}$
τ_{xy}	σ_y	τ_{zy}	$\frac{1}{2}\gamma_{xy}$	ε_y	$\frac{1}{2}\gamma_{zy}$
τ_{xz}	τ_{yz}	σ_z	$\frac{1}{2}\gamma_{xz}$	$\frac{1}{2}\gamma_{yz}$	ε_z
Cazul eforturilor principale:			Cazul deformațiilor principale:		
σ_{11}	τ_{21}	τ_{31}	ε_{11}	$\frac{1}{2}\gamma_{21}$	$\frac{1}{2}\gamma_{31}$
τ_{12}	σ_{22}	τ_{32}	$\frac{1}{2}\gamma_{12}$	ε_{22}	$\frac{1}{2}\gamma_{32}$
τ_{13}	τ_{23}	σ_{33}	$\frac{1}{2}\gamma_{13}$	$\frac{1}{2}\gamma_{23}$	ε_{33}
unde:			unde:		
$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$			$\varepsilon_m = \frac{1}{3}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$		
$\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$			$\varepsilon_0 = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$		

explicitată în tabelul XVI.1. În funcție de modelul mediului continuu (dens), pentru determinarea stării de tensiune-deformare a unui masiv de rocă există un sistem format din 9 ecuații (în coordonate carteziane sau polare) (tabelul XVI.2), independente (ecua-

Tabelul XVI.2

Sistemul de ecuații pentru determinarea stării de tensiune-deformare

Ecuațiile de echilibru	
Dinamic	Static
$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \gamma_a X = \gamma_a \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \gamma_a X = 0$
$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \gamma_a Y = \gamma_a \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \gamma_a Y = 0$
$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \gamma_a Z = \gamma_a \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \gamma_a Z = 0$
$\tau_{xy} = \tau_{yx}$ $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ $\tau_{zx} = \tau_{xz}$	
Ecuațiile de compatibilitate	
Prima grupă	A doua grupă
$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2}$	$2 \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left[-\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} \right]$
$\frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z} = \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2}$	$2 \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right]$
$\frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x} = \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2}$	$2 \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial z \partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left[-\frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} \right]$

țiile lui Cauchy, ecuațiile de echilibru, ecuațiile de continuitate sau condițiile lui Saint-Venant) cu 15 necunoscute: σ_x ; σ_y ; σ_z ; τ_{xy} ; τ_{yz} ; τ_{zx} ; ε_x ; ε_y ; ε_z ; γ_{xy} ; γ_{yz} ; γ_{zx} ; u ; v ; w , adică static nedeterminat. Ridicarea nedeterminării se realizează prin introducerea ecuațiilor fizice de stare, caracteristice fiecărui model considerat. Asemenea ecuații unesc, prin corelații bine definite, tensiunile și deformațiile numindu-se *legi fizice constitutive*. În funcție de tipul legăturii σ - ε se deosebesc următoarele stări de bază tensiune-deformare: elastică, plastică, viscoasă și combinații ale acestora.

1.1.2. ANALIZA STĂRII DE TENSIUNE SAU DE DEFORMARE PE CALE GRAFICĂ

Un asemenea deziderat se poate realiza prin intermediul cercurilor lui Mohr, a căror ecuații sînt de forma: $y^2 + (x - x_0)^2 = r^2$, adică:

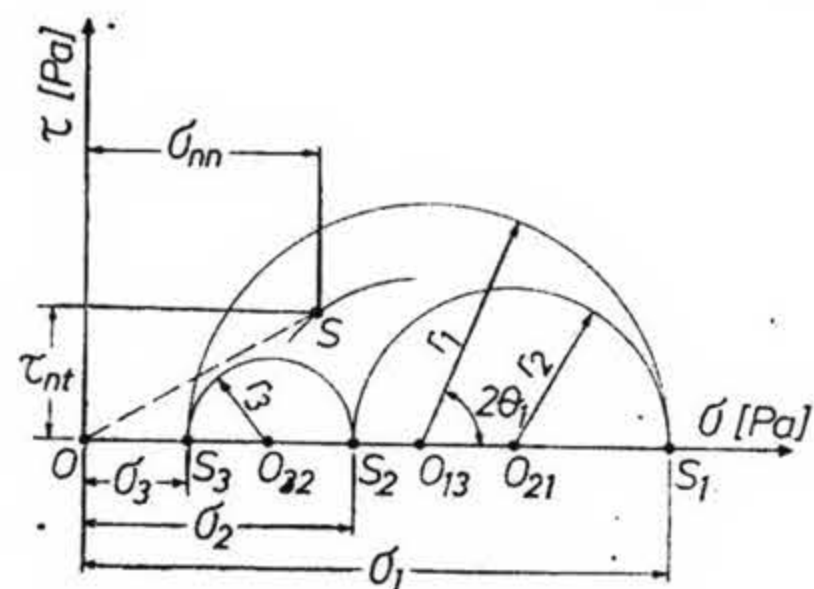


Fig. XVI.3. Cercul lui Mohr.

cu centrele pe axa σ , la distanțele OO_1 ; OO_2 ; OO_3 și razele r_1 ; r_2 ; r_3 (fig. XVI.3). Deci locul geometric al punctelor S_i ce reprezintă stări de eforturi obținute prin variația continuă a unghiului θ este un cerc denumit *cercul lui Mohr* și a cărui ecuație se stabilește funcție de starea de tensiune în care ne situăm: triaxială, plană, liniară. Cercul lui Mohr, este o tehnică de calcul și nu o reprezentare fizică a unei stări de tensiune sau de deformare.

1.2. ELEMENTE DE TEORIA TENSIUNILOR ȘI A DEFORMAȚIILOR ÎN MEDII ELASTICE

Mediile elastice se caracterizează prin cel mai simplu tip de corelație $\sigma - \varepsilon$ și anume *legătura elastică* sau *modelul elastic* de comportare a masivului omogen și izotrop. Ecuația constitutivă în contextul precizat este legea generalizată a elasticității — *legea lui Hooke* — de forma:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] & \gamma_{xy} &= \frac{1}{G} \tau_{xy} \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)] & \gamma_{yz} &= \frac{1}{G} \tau_{yz} \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] & \gamma_{zx} &= \frac{1}{G} \tau_{zx} \end{aligned} \quad (1.5)$$

Din punct de vedere practic, de mare interes pentru activitatea minieră sînt cazurile particulare ale stării de tensiune-deformare spațiale și anume *starea plană și liniară*. Starea plană apare cînd $\sigma_z = 0$ și $\tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$, adică tensorul de tensiune devine:

$$[T_\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

iar legea constitutivă redată matricial are forma: $\{T_\sigma\} = [A] \{T_\varepsilon\}$ sau explicitată

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & 0 \\ \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & \frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\mu)} \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

1.3. PLASTICITATEA. ELEMENTE DE TEORIA TENSIUNILOR ȘI A DEFORMAȚIILOR ÎN MEDII PLASTICE. CONDIȚII DE PLASTICITATE

Comportamentul plastic este proprietatea pe care o au corpurile solide de a suferi deformări permanente fără a-și pierde coeziunea după încetarea forțelor exterioare care le-au creat deformarea (fig. XVI.4). Din punct de vedere practic, noțiunea de plasticitate se leagă de stadiul stării de tensiune. Se admite ca limită de plasticitate efortul corespunzător unor deformări $\varepsilon_r = 0,03\%$. Noțiunea de *plasticitate* permite stabilirea unor legi cu ajutorul cărora se pot realiza o serie de probleme în care au loc deformări complexe, neliniare.

Starea plastică a rocii care poate să survină imediat după starea elastică exprimată printr-o funcție de tensiune (f) este denumită *condiție de plasticitate*. Forma generală a acestei funcții este exprimată prin o serie de relații ca:

$$f(J_1; J_2; J_3) = 0 \text{ sau } f = \sigma - \psi(\alpha_k) \quad (1.8)$$

În decursul timpului s-a ajuns la o îngustare a generalității și la apariția mai multor relații sau condiții de plasticitate. Astăzi se utilizează următoarele forme ale funcției (f), relația (1.8):

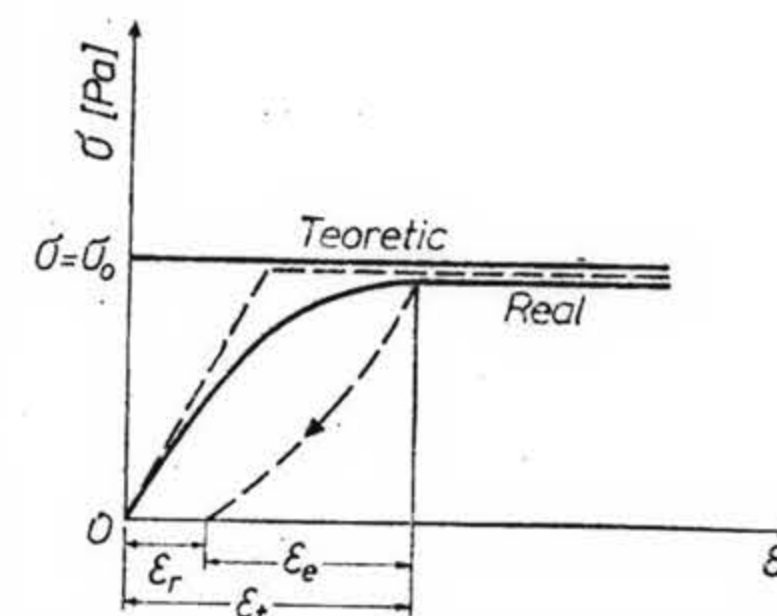


Fig. XVI.4. Comportament plastic.

1) Condiția de plasticitate Huber-Von Mises — Henky, sub forma :

$$f = J_2 - \psi(\alpha_k) = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 - 2\sigma_e = 0 \quad (1.9)$$

În cazul monoaxial, pentru o solicitare la tracțiune : cînd $\sigma_1 = \sigma_e$; $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, condiția devine :

$$\frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_e = k \quad (1.10)$$

iar pentru o solicitare la forfecare : cînd $\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau_e$; $\sigma_2 = 0$, condiția devine $\tau_e = k$. Deci putem scrie că :

$$k = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} = \tau_e \quad (1.11)$$

Această condiție descrie foarte bine comportamentul argilelor saturate și nedrenate.

2) Condiția de plasticitate Saint-Venant — Tresca exprimă funcția (f) sub forma :

$$f = \sup[(\sigma_i - \sigma_j) - \psi(\alpha_k)] \quad (1.12)$$

dacă :

$$\max |\tau_{n_{ij}}| = \frac{1}{2} (\sigma_i - \sigma_j) \quad (1.13)$$

atunci relația (1.12) devine :

$$\{|\tau_n|\}_{\max} = k \quad (1.14)$$

adică roca trece în stare plastică atunci cînd tensiunea tangențială maximă atinge o anumită valoare critică independentă de felul stării de tensiune. Monoaxial, condiția devine :

— pentru tracțiune :

$$\frac{1}{2} \sigma_e = k$$

— pentru forfecare $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_e$ sau $\tau_e = k$. Deci putem scrie că :

$$k = \frac{\sigma_e}{2} = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) = \tau_e \quad (1.15)$$

3) Condiția de plasticitate a lui Mohr presupune că în cazul stării plastice a rocii diferența maximă dintre valoarea absolută a tensiunii tangențiale și o anumită funcție de tensiunea normală care acționează după aceeași suprafață este zero, adică :

$$\max \{|\tau_n|\} - f(|\sigma_n|) = 0 \quad (1.16)$$

sau :

$$f = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) - F_1 \left[\frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_3) \right] = 0 \quad (1.17)$$

unde funcția F_1 depinde de σ_1 , σ_3 , φ , adică caracterizează proprietățile mecanice ale rocii. În plan se reprezintă sub forma unei curbe înfășurătoare (fig. XVI.5), ca și curbă limită. Condițiile considerate nu includ însă efectul tensiunii principale intermediare σ_2 .

4) Condiția de plasticitate a lui Druker-Prager generalizează criteriul de plasticitate sub forma unei legi de curgere de tipul :

$$f = \alpha \cdot J_1 - \sqrt{J_2} - k = 0 \quad (1.18)$$

sau :

$$f = \alpha(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) + \left\{ \frac{1}{6} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 \right\}^{1/2} - k = 0 \quad (1.19)$$

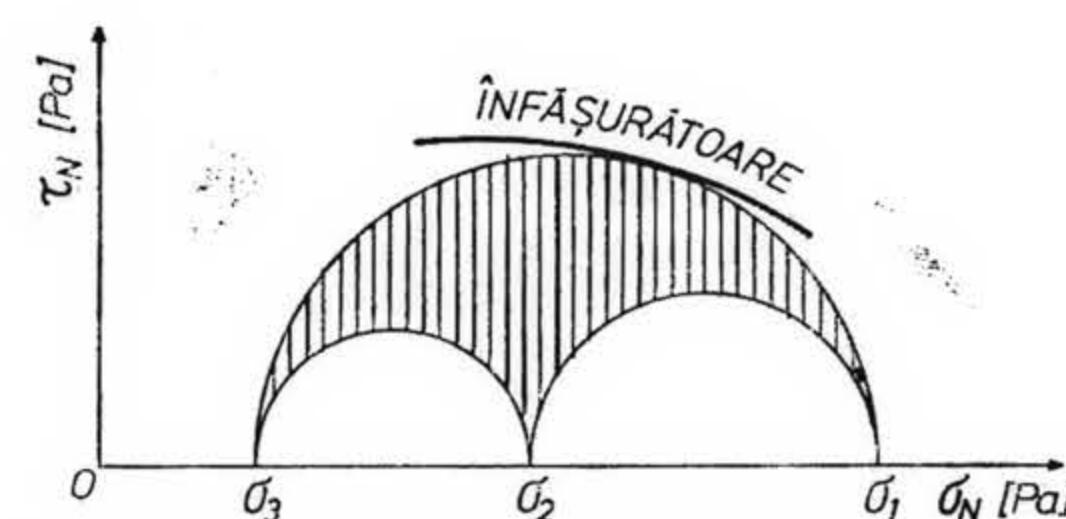


Fig. XVI.5. Curba înfășurătoare — curbă limită.

unde α și k sînt constante pozitive date de expresiile :

$$\alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{(9 + 12 \operatorname{tg}^2 \varphi)^{1/2}} \quad k = \frac{3C}{(9 + 12 \operatorname{tg}^2 \varphi)^{1/2}} \quad (1.20)$$

1.4. MECANISMUL DE REZISTENȚĂ ȘI FRACTURARE A ROCILOR ȘI SUBSTANȚELOR MINERALE UTILE. IPOTEZE DE RUPERE

Odată cu creșterea solicitării $\sigma_i > \sigma_e$ în rocă se produc modificări ireversibile, comportamentul este neliniar-neelastic, iar starea de echilibru din interiorul masei de roci se modifică atât de mult încît apare pericolul de rupere, moment în care rezistența și stabilitatea acesteia începe să se diminueze din ce în ce mai mult, pînă sînt compromise. Pe o curbă caracteristică $\sigma - \varepsilon$, pragul de la care este posibilă apariția ruperii este definit fie de punctul (d) în cazul rocilor casante, fie de punctul (c) în cazul rocilor ductile (fig. XVI.6). Un asemenea prag poate fi denumit *limită de rupere* sau *de curgere*. O serie de ipoteze sub forma unor criterii încearcă evidențierea și stabilirea unui astfel de prag. Criteriul lui Coulomb sugerează că la ruperea prin forfecare a rocilor, efortului tangențial τ_n , care tinde să producă ruperea după un plan oarecare, i se opun coeziunea c și efortul normal σ_n multiplicat cu tangenta unghiului de frecare interioară : $\tau_n = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Considerind

Un asemenea criteriu se aplică în cazul rocilor fără coeziune (clastice), cu coeziune mică (rocile argiloase) și în cazul acelor roci care nu manifestă ruperi preferențiale la forfecare pe anumite direcții. Astfel:

— în cazul rocilor clastice ($c = 0$), (fig. XVI.10, a) criteriul este o linie dreaptă ce trece prin originea sistemului de axe (τ ; σ) și deci $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Ruperea se produce când cercul lui Mohr este tangent la această dreaptă, condiția limită fiind:

$$\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} \geq \frac{\overline{OO_1} - \overline{O_1A}}{\overline{OO_1} + \overline{O_1B}} = \frac{\overline{OO_1} - r}{\overline{OO_1} + r} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = i \quad (1.28)$$

$$\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \geq i = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right);$$

— în cazul rocilor cu coeziune, ($c \neq 0$), (fig. XVI.10, b) condiția devine:

$$\frac{\sigma_3 + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{\sigma_1 + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} \geq \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}; \text{ sau } \sin \varphi \geq \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} \quad (1.29)$$

iar

— în cazul unui masiv stratificat și condiții hidrogeologice evidente, ruperea se produce după plane de alunecare înclinate cu un unghi față de tensiunile principale (fig. XVI.11):

$$\sigma = -\sigma_z \cos \beta \cdot \cos \beta - \sigma_x \sin \beta \cdot \sin \beta.$$

$$\tau = -\sigma_z \cos \beta \cdot \sin \beta + \sigma_x \sin \beta \cos \beta.$$

care introduse în $\tau \leq c + (\sigma - u_1) \cdot \operatorname{tg} \varphi$, ne conduc la condiția:

$$\sigma_z \cos \beta \cdot \sin (\varphi - \beta) + \sigma_x \sin \beta \cdot \cos (\varphi - \beta) + c \cdot \cos \varphi - u_1 \sin \varphi > 0 \quad (1.30)$$

sau când $c = 0$ și $u_1 = 0$ la condiția:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_z} = -\frac{\operatorname{tg} (\varphi - \beta)}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\operatorname{tg} (\beta - \varphi)}{\operatorname{tg} \beta} \quad (1.31)$$

Utilizarea acestei relații în cazul unei lucrări miniere executate în masiv stratificat (caracterizat de: $\sigma_z = 2 \text{ [MPa]}$; $\beta = 50^\circ$; $\varphi = 40^\circ$; $u_1 = 0$ și $c = 0$), (fig. XVI.11), stabilește

valoarea efortului lateral necesar pentru menținerea stabilității ca fiind de: $\sigma_x = \sigma_y = 0,2 \text{ [MPa]}$. Criteriul lui Mohr presupune că ruperea se produce în momentul în care se îndeplinește condiția de plasticitate, relația (1.16). O asemenea expresie poate fi reprezentată grafic printr-o curbă — înfășurătoare — fie de tip parabolic, fie cicloidă, fie chiar sub forma unei drepte. Curba dată de expresia (1.16) nu este gândită pentru a fi obținută de o ecuație explicită, ci presupune că se obține experimental ca înfășurătoare a cercurilor lui Mohr, corespunzătoare ruperii în condiții diferite. Pentru acest motiv a fost denumită înfășurătoare a lui Mohr (fig. XVI.12). În cazul stării de tensiune σ_1 ; σ_2 ; σ_3 , (condiția $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) ruperea se va produce atunci când cercul cu diametrul $\sigma_1 - \sigma_3$ devine tangent la curba intrinsecă \widehat{AB} . O asemenea constatare permite evidențierea a două concluzii: (1) valoarea efortului principal intermediar σ_2 , după Mohr, nu afectează ruperea și (2), planul de rupere trece prin direcția efortului principal intermediar și normala la el face unghiul β cu

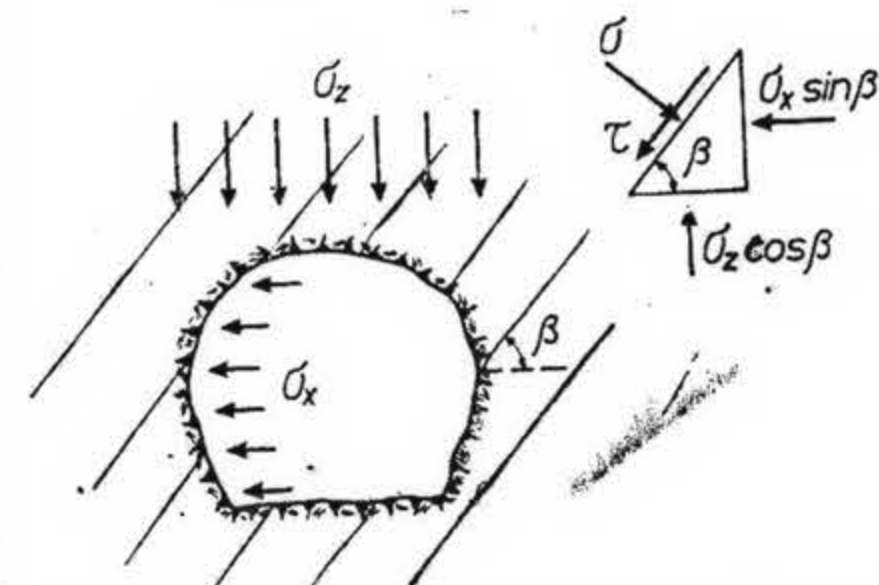


Fig. XVI.11. Producerea ruperii după plane de alunecare înclinate a unui masiv stratificat.

direcțiile lui σ , iar 2β este unghiul $\widehat{TO_1\sigma}$ dintre normala la curbă și axa $O\sigma$. Experimental s-a constatat că: (1) normala la înfășurătoare Mohr determină direcția de rupere; (2) înfășurătoare este de obicei concavă, astfel că cu cât valoarea medie a efortului crește, planul de rupere devine înclinat cu un unghi mai mare față de direcția lui σ_1 . Curba înfășurătoare crește continuu cu σ_3 , astfel încât se va deschide spre dreapta. Asemenea constatări sînt adevărate numai pentru încercări poliaxiale axial simetrice. În contextul ruperii trebuie luată în considerare și influența efortului principal intermediar. În funcție de tipul geometric al înfășurătorilor se pot distinge o serie de

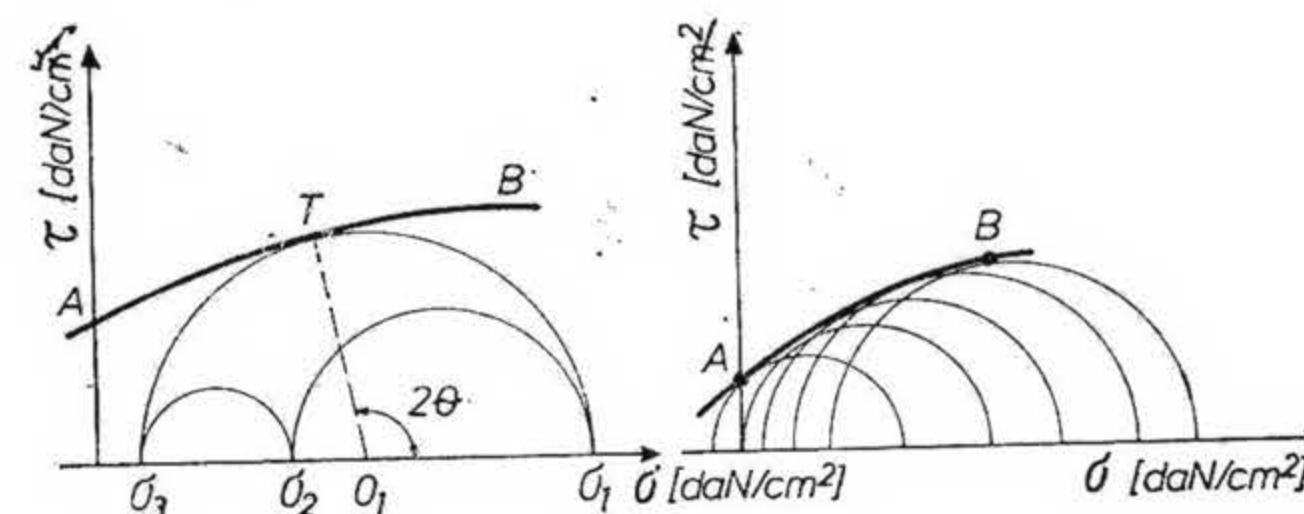


Fig. XVI.12. Înfășurătoarea lui Mohr.

cazuri: cazul înfășurătorii de tip liniar, cunoscut și sub denumirea de criteriul Coulomb-Mohr, este redat analitic prin relația:

$$\sin \angle AO_1 = \frac{\overline{O_1T}}{\overline{AO_1}} = \frac{\tau_m}{\sigma_m + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} = \sin \varphi \quad (1.32)$$

conform fig. XVI.13 și, ca urmare, ecuația înfășurătorii liniare este deci : $\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Expresia care redă spațial (sub forma unui con) criteriul lui Coulomb-Mohr este de forma :

$$(k + \sigma_{oct}) \cdot \operatorname{tg} \gamma - \tau_{oct} = 0 \quad (1.33)$$

unde : $k = c \cdot \operatorname{ctg} \varphi$, iar $\gamma = 45 - j$, în care $j = (1 + \sin \varphi) / (1 - \sin \varphi)$.

Cazul înfășurătorii de tip cicloidal este redat printr-o serie de relații. De exemplu, pentru cărbuni se recomandă utilizarea ecuațiilor cicloidei de forma :

$$\sigma + \sigma_t = \frac{1}{2} k(4\psi - \sin 4\psi) \quad (1.34)$$

$$\tau = \frac{1}{2} k(1 - \cos 4\psi)$$

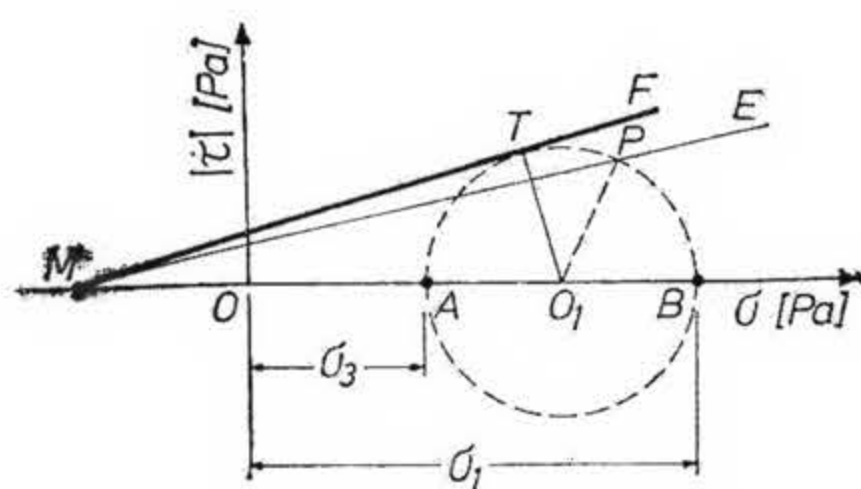


Fig. XVI.13. Cazul înfășurătorii de tip liniar.

unde k este raza cercului osculator de vîrf al cicloidei, dat de relația :

$$k = \frac{\sigma_t - c \operatorname{ctg} \varphi}{\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - \operatorname{ctg} \varphi} \quad (1.35)$$

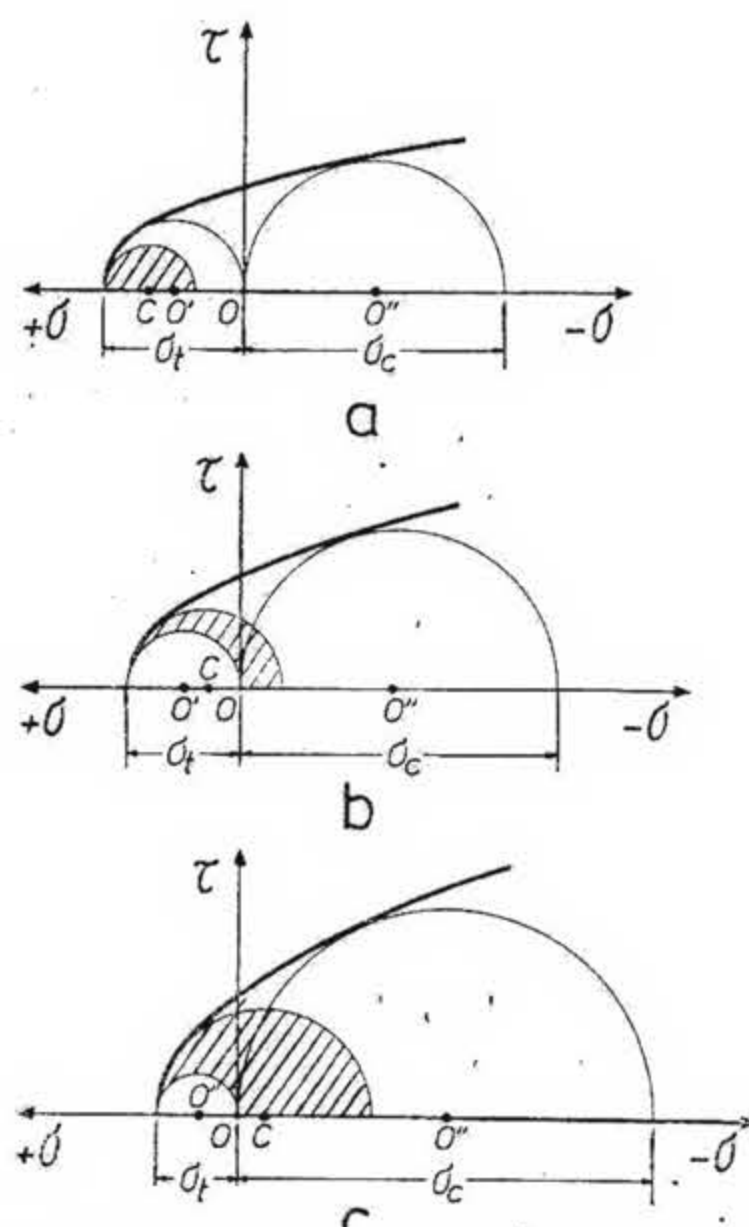


Fig. XVI.14. Cazul înfășurătorii de tip parabolic :

Cazul înfășurătorii de tip parabolic, a cărei ecuație este de forma :

$$\tau = (c - \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi)^{\frac{1}{2}} \quad (1.36)$$

a permis, pentru roci, funcție de poziția centrului cercului osculator de vîrf al parabolei, diversificarea a trei comportamente de deformare :

$$\tau = 0; \quad \sigma = \sigma_t \left[1 - \sqrt{1+j} + \frac{1}{2} j \right] \quad (1.37)$$

(1), comportament plastic, cînd $j < 3$, (fig. XVI.14, a); (2) comportament elastoplastic, cînd $3 < j < 5$, (fig. XVI.14, b); (3) comportament elastic, cînd $j > 5$, (fig. XVI.14, c).

Criteriul lui Griffith pleacă de la realitatea că roca este neomogenă, neomogenitate materializată prin prezența microfisurilor și a fisurilor în structura ei. Prezența microfisurilor are drept efect concentrări de tensiune pe conturul lor. Griffith a presupus microfisuri de formă eliptică (fig. XVI.15) și a stabilit criteriul de rupere, în sensul că ruperea se produce :

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = 8 \sigma_t (\sigma_1 + \sigma_3) \quad \text{dacă} \quad \sigma_1 + 3 \sigma_3 > 0 \quad (1.38)$$

$$\sigma_3 = -\sigma_t \quad \text{dacă} \quad \sigma_1 + 3 \sigma_3 < 0 \quad (1.39)$$

și a cărei prezentare grafică este redată în fig. XVI.16 liniară (dreapta ABC : $\sigma_3 = -\sigma_t$ pentru $-\sigma_t < \sigma_1 < 3 \sigma_t$ și parabolică (porțiunea CDE) conform relației (1.38) și care intersectează porțiunea liniară în punctul C ($3 \sigma_t$; σ_t). Parabola completă, relația (1.38), trece prin origine (fig. XVI.16). Cînd $\sigma_3 = 0$, cazul compresiunii monoaxiale, $\sigma_1 = 8 \sigma_t$ și deci rezistența de rupere la compresiune monoaxială este $\sigma_c = 8 \sigma_t$. Prognoza dată

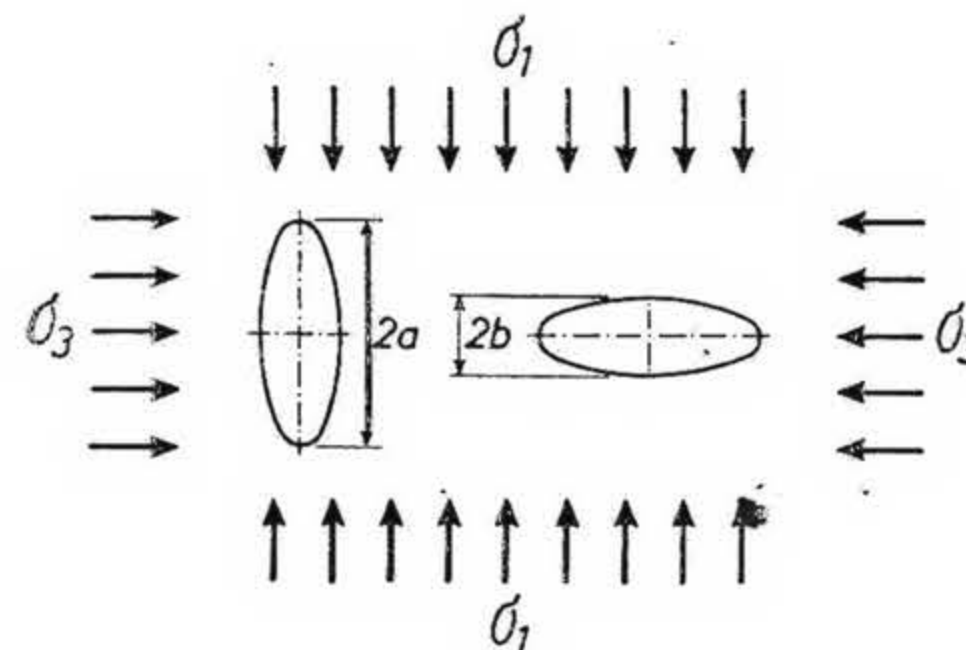


Fig. XVI.15. Fisuri de formă eliptică.

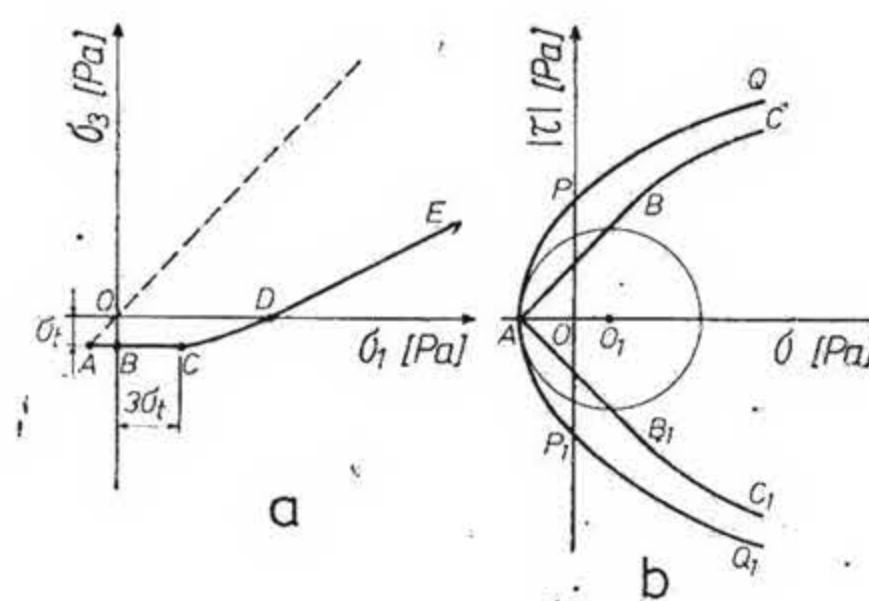


Fig. XVI.16. Criteriul de rupere Griffith :
a — liniar; b — parabolic.

a rezistenței la compresiune este utilizabilă, dar practica ne relevă că valoric ea este de multe ori mai mare. În contextul teoriei cercului lui Mohr, criteriul lui Griffith devine :

$$\tau_m^2 = 4 \sigma_t \cdot \sigma_m \quad \text{dacă} \quad 2 \sigma_m > \tau_m \quad (1.40)$$

$$\tau_m = \sigma_m + \sigma_t \quad \text{dacă} \quad 2 \sigma_m < \tau_m \quad (1.41)$$

reprezentat grafic în fig. XVI.16 (prin dreapta AB cu înclinarea de 45° pentru $-\sigma_t < \sigma_m < \sigma_t$ și porțiunea parabolică BC pentru $\sigma_m < \sigma_t$). Cercurile Mohr pentru segmentul de dreaptă AB trec prin punctul A . Determinarea înfășurătorii Mohr pentru punctele care descriu parabola BC se realizează prin găsirea înfășurătorii cercurilor de centru σ_m și 0 , și rază τ_m dată de relația (1.40), cercuri a căror ecuație este de forma:

$$f(\sigma_m) = (\sigma - \sigma_m)^2 + \tau^2 - \tau_m^2 = (\sigma - \sigma_m)^2 + \tau^2 - 4\sigma_{tm} = 0 \quad (1.42)$$

Eliminând pe σ_m între ecuațiile sistemului:

$$f(\sigma_m) = 0 \quad (1.43)$$

$$\frac{\partial f(\sigma_m)}{\partial \sigma_m} = 0$$

se obține: $\sigma - \sigma_m + 2\sigma_t = 0$ care, combinată cu relația (1.42), conduce la înfășurătoarea de forma: $\tau^2 = 4\sigma_t(\sigma + \sigma_t)$ ce definește parabola ATP trecind prin punctul A , expresie grafică a criteriului lui Griffith. Analizind cele două moduri de rupere: casant și ductil

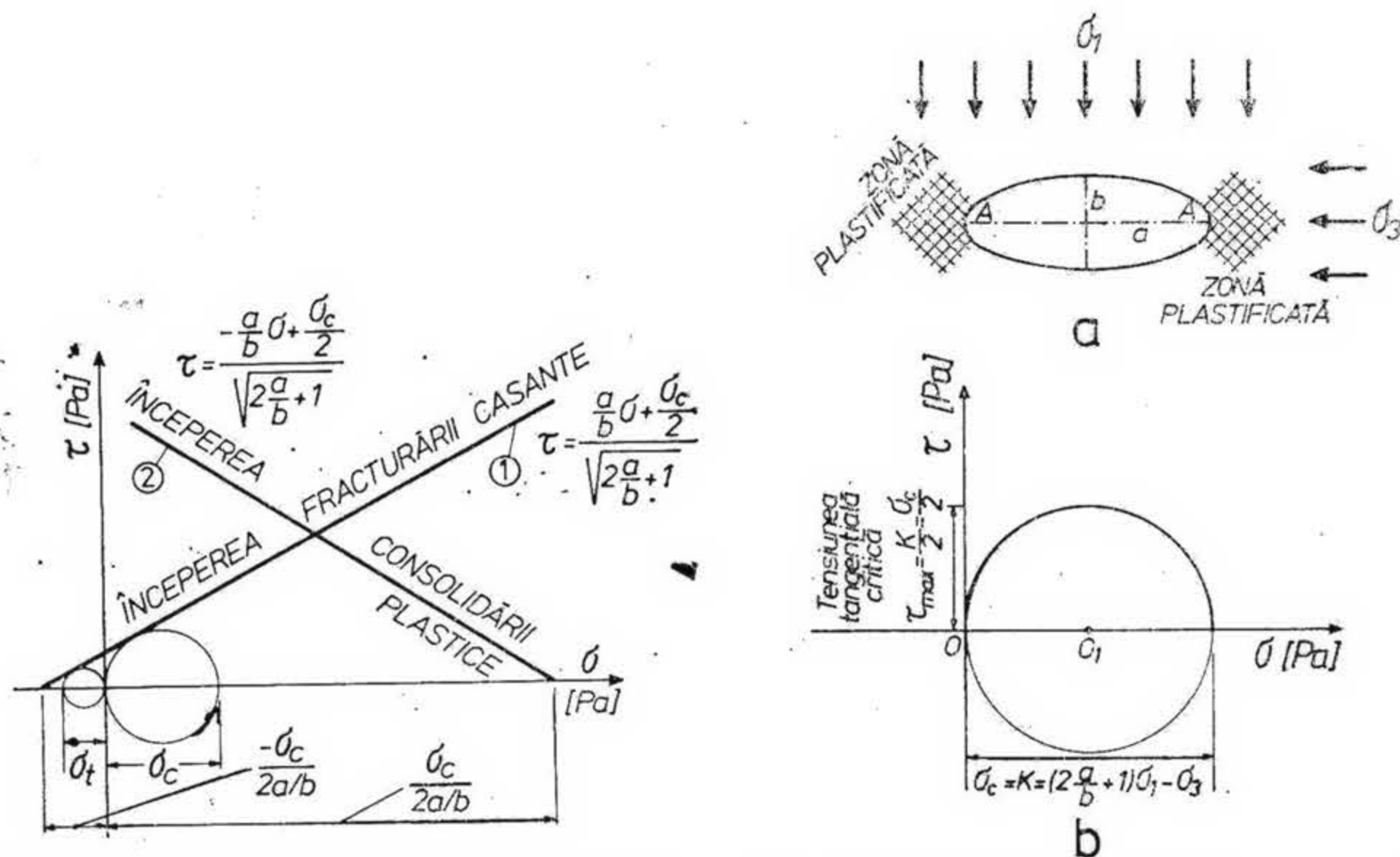


Fig. XVI.17. Expresiile de rupere a înfășurătorilor Mohr de tip ductil și casant.

Fig. XVI.18. Redarea grafică a începerii ruperii plastice.

sau plastic, s-au stabilit atât expresiile înfășurătorilor Mohr pentru ruperea casantă și ruperea plastică (fig. XVI.17), cât și redarea grafică și analitică (fig. XVI.18) a începerii ruperii plastice. O generalizare logică a criteriului lui Griffith (în spațiu tridimensional) conduce la presupunerea că suprafața de rupere are forma unui paraboloid de revoluție

cu axul $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ și a cărei ecuație este: $\tau_{oct}^2 = 8\sigma_t \cdot \sigma_{oct}$, ca rezultat al rotației parabolei din fig. XVI.19 de ecuație $y^2 = 4bx$. Se pare că această teorie este în concordanță bună cu rezultatele experimentale, deoarece în acest caz rezultă că $\sigma_c = 12\sigma_t$.

După prezentarea criteriilor, problema care se pune este aceea de a vedea care, dintre ele trebuie preferat. Răspunsul este greu de dat atîta timp cît nu vor exista sufi-

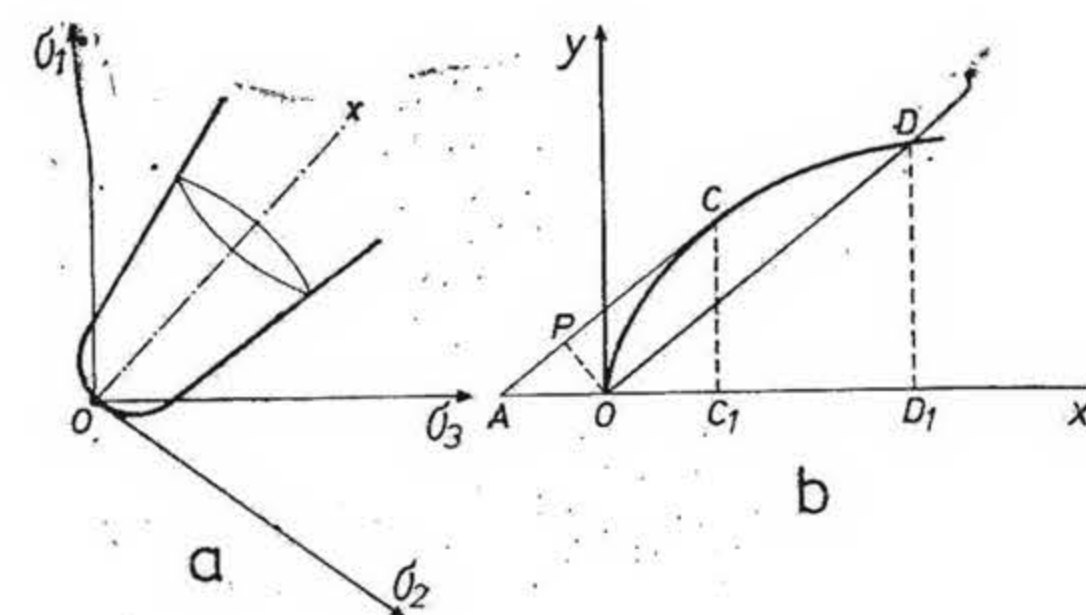


Fig. XVI.19. Criteriul de rupere a lui Griffith generalizat.

ciente date asupra proprietăților mecanice ale rocilor. Există totuși două deosebiri principale între ipotezele teoretice: (1) criteriul Coulomb prezice o variație liniară a lui σ_1 cu σ_3 pe cînd Griffith una parabolică. Nici una din afirmații nu este reală și expresia generalizată a teoriei lui Griffith este mai plauzibilă ($\sigma_1 = \sigma_c + b\sigma_3^m$); (2) criteriile Coulomb, Mohr, Griffith susțin că efortul intermediar σ_2 nu are efect asupra rezistenței rocii. Numai cel generalizat a lui Griffith acceptă un asemenea efect.

2. METODE EXPERIMENTALE PENTRU CARACTERIZAREA ROCILOR ȘI SUBSTANȚELOR MINERALE UTILE

2.1. RECOLTAREA ȘI PRELEVAREA PROBELOR DE ROCI

Probele de rocă trebuie să reprezinte cît mai fidel, din punct de vedere heterogen, masivul studiat. Luarea de probe, eșantionarea, trebuie să fie reală, exactă și specifică problemei urmărite. Ca urmare a acestui fapt operația de colectare trebuie să fie întotdeauna precedată de o serie de observații, determinări și studii referitoare la litologia masivului, la cunoașterea proprietăților geologice și de legătură create în timp de fenomenele geotectonice: structura, textura, compoziția mineralogică, natura matricei sau a materialului de cimentare, gradul de alterare, heterotropia și anizotropia. Toate acestea trebuie marcate pe documentația grafică minieră. Foarte adesea modificările în culoarea rocii ne ajută la delimitarea directă a unor zone diferite. Prezența clivajelor, a fisurilor,

a crăpăturilor și a altor discontinuități se impun a fi luate în considerare în momentul colectării și notate. Precizăm că proprietățile rocilor variază extrem de mult în zona regiunilor faliate, a cutelor etc. În mod obișnuit probele sînt colectate sub forma de blocuri sau carote. Blocurile sînt colectate fie prin tăiere, fie prin intermediul perforării de găuri secante. Nu se admite o colectare de blocuri din roca excavată. Colectarea necesită foarte multă atenție, în sensul că blocurile colectate trebuie să includă la scara respectivă inerențele defecte structurale, plane de slăbire, de heterogenitate etc. În final probele orientate și colectate se parafinează imediat după extragerea din masiv, numerotîndu-se și etichetîndu-se în vederea păstrării tuturor caracteristicilor care se pot modifica odată cu schimbarea condițiilor înconjurătoare. În timpul transportului, probele nu trebuie supuse unor lovitururi sau vibrații excesive. Depozitarea lor pînă la prelucrare se va face în condiții adecvate și care să nu le afecteze cu nimic integritatea fizică și mecanică.

2.2. CARACTERISTICI FIZICE

Rocile și substanțele minerale utile, din punct de vedere fizic, sînt sisteme trifazice constituite dintr-un amestec de materie solidă, apă și gaze. Cunoașterea stării fizice a rocilor și a influenței acesteia asupra activității miniere se poate realiza numai prin determinarea unor caracteristici fizice. Dintr-o gamă largă de proprietăți fizice pe care o oferă literatura de specialitate se impune cunoașterea proprietăților de densitate și a celor care caracterizează roca ca un corp complex — trifazic — atît ca compoziție cît și construcție.

Proprietățile fizice ce caracterizează densitatea rocilor și care se manifestă ca rezultat al forțelor gravitaționale se pot diferenția în: (1) *gravitaționale propriu-zise*, care includ greutatea specifică (γ); greutatea specifică aparentă sau volumetrică (γ_a) și (2) *structurale*, care includ: analiza granulometrică; masa specifică (ρ); masa volumetrică sau densitatea (ρ_a); porozitatea (n); cifra porilor (e).

Greutatea specifică (γ) este definită ca fiind greutatea unității de volum a fazei solide a rocii sau substanței minerale utile. Valoric se determină pe cale de laborator, prin metoda picnometruului (fig. XVI.20), folosind relația experimentală:

$$\gamma = \frac{(G_2 - G) \cdot \gamma_w}{(G_1 - G) - (G_3 - G_2)} \quad [\text{N/m}^3] \quad (2.1)$$

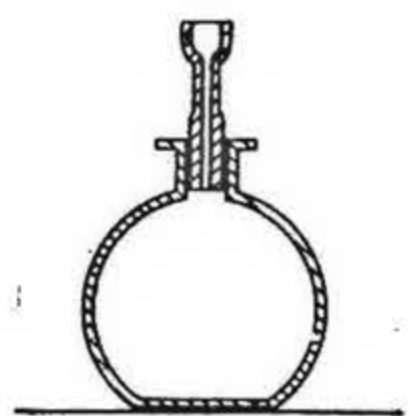


Fig. XVI. 20. Picnometru.

în care: G este greutatea picnometruului gol și uscat;
 G_1 — greutatea picnometruului plin cu apă distilată pînă la reper;
 G_2 — greutatea picnometruului cu material;
 G_3 — greutatea picnometruului cu material și apă distilată pînă la reper după fierbere și răcire. Valorile greutății specifice a rocilor în raport cu mineralele constitutive variază de obicei între limitele $(1,5-5) \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$.

Greutatea specifică aparentă (γ_a) este definită ca fiind greutatea unității de volum aparent al rocii sau substanței minerale utile. În laborator se determină, în general, prin metoda parafinării, folosind relația experimentală:

$$\gamma_a = \frac{G \cdot \gamma_w \cdot \gamma_p}{\gamma_p(G_1 - G_2) - \gamma_w(G_1 - G)} \quad [\text{N/m}^3] \quad (2.2)$$

în care: G este greutatea probei de rocă cîntărită în aer;

G_1 — greutatea probei parafinate cîntărită în aer;

G_2 — greutatea probei parafinate și cîntărită în apă;

γ_p — greutatea specifică aparentă a parafinei, $(0,87-0,92) \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$;

γ_w — greutatea specifică aparentă a apei ($1,00 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$), sau utilizînd, procede în funcție de natura rocilor și substanțelor minerale utile, (tabelul XVI.3). Astăzi se folosește pe scară tot mai largă metoda modificării fasciculului impus sau gamma-gamma. Este o proprietate calitativ-cantitativă.

Tabelul XVI.3. Procede de determinare a greutății volumetrice

DOMENIUL DE UTILIZARE	DENUMIREA PROCEDEULUI	ILUSTRAREA GRAFICĂ A PRINCIPIULUI DE DETERMINARE UTILIZAT DE PROCEDEU	RELAȚIA ANALITICĂ UTILIZATĂ
Roci clastice ($c=0$)	Determinări directe prin cîntărire (G) și măsurare (V)		$\gamma_a = \frac{G}{V} \quad [\text{N/m}^3]$ G — greutatea rocii clastice determinată prin cîntărire; V — volumul total măsurat cu cilindru gradat
Roci moi	Procedeul ștanței		$\gamma_a = \frac{G_t - G_s}{V} \quad [\text{N/m}^3]$ G_s — greutatea corpului ștanței; G_t — greutatea corpului ștanței cu rocă; V — volumul interior al ștanței egal cu volumul total al probei
Roci coezive	Roci semistăcoase		$\gamma_a = \frac{G_t (1 + \frac{W_a}{100})}{V} \quad [\text{N/m}^3]$ $V = a \cdot b \cdot h$ (prismă) $a = 0,25(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)$; $b = 0,25(b_1 + b_2 + b_3 + b_4)$; $h = 0,25(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$; $V = \frac{\pi d^2}{4} h$ (cilindru) $d = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 d_i$; $h = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 h_i$

Drept indicator calitativ redă informații referitoare la gradul de alterare a rocilor, în sensul descreșterii sale pentru unul și același tip de rocă cu creșterea alterării. Cantitativ este totdeauna mai mică decît greutatea specifică.

Compoziția granulometrică. Roca sau substanța minerală utilă, structural, nu este niciodată omogenă. Componentul solid este format din granule de diferite mărimi, înconjurată de goluri și ciment de legătură. Mărimea granulelor variază între limite foarte largi — de la granule coloidale pînă la mărimea unor grohotișuri. Mărimea și prezența lor procentuală influențează mult comportarea rocilor. Avînd în vedere acest fapt, este necesară stabilirea repartizării cantitative (procentuale) pe dimensiuni a particulelor componente ale acestora. Un asemenea deziderat se poate realiza prin *analiza granulometrică*, adică determinarea repartizării procentuale (cantitative) pe dimensiuni a particulelor componente ale unei roci. În funcție de natura rocilor și de ordinul de mărime a fragmentelor acestora, analiza se poate realiza prin mai multe metode (tabelul XVI.4). Rezultatele obținute în urma analizei granulometrice sînt prelucrate și interpretate cu ajutorul diverselor diagrame: histograme, curbe de frecvență, curbe de probabilitate etc. (fig. XVI.21). Dintre aceste reprezentări, des utilizate sînt *histogramele* și *curbele granul-*

Tabelul XVI.4

Metode utilizate pentru studiul compoziției granulometrice a rocilor

Principiul	Denumirea metodei de analiză	Caracterizarea și domeniul de utilizare a metodei
0	1	2
Cernerii	Cernerea clasică	Se aplică în cazul rocilor clastice, sedimentare cimentate și unele roci metamorfice, care în contact cu apa se dezagregă (se desfac în granulele lor componente). Poate separa granule cu un diametru minim de până la 40 μ .
	Cernerea ultra-fină în domeniul umed	Se aplică în cazul rocilor clastice, sedimentare cimentate și unele roci metamorfice care în contact cu apa se dezagregă (se desfac în granulele lor componente), dar pentru particule cu diametrul cuprins între 40 μ —1 μ și într-un mediu umed constituit din lichide cu anumite caracteristici de densitate, vâscozitate și tensiune superficială (text).
Levigării	Metoda elutriatorului de diferite tipuri (Banco etc.)	Se pot aplica numai pentru un domeniu bine stabilit și anume: diametrul granulelor nu trebuie să aibă un diametru mai mic de 5 μ deoarece apar perturbări de natură browniană; toate cele trei dimensiuni ale granulelor să fie aproximativ egale
În curent de aer	Metoda fluometrelor	Același domeniu de aplicare ca și al elutriatoarelor. Există și procedee combinate cu o centrifugare, caz în care se elimină unele inconveniente ale procedeelelor simple prin levigație sau în curent de aer.

Tabelul XVI.4 (continuare)

0	1	2
Sedimentării	Metoda de sedimentare clasică (pipeta <i>André-osen</i> , sedimentometrul <i>Prof</i> , vasul lui <i>Boyau-cos</i> etc.)	Domeniul lor de aplicare pentru granule cu diametrul cuprins între 40 μ —2 μ . Toate variantele sedimentării clasice prezintă inconvenientul de a fi lente, puțin precise și false totodată pentru granulele foarte fine (< 2 μ) prin fenomenele de adsorbție, mișcarea browniană, orientarea granulelor care apar în timpul încercărilor.
	Metode de sedimentare combinate	S-a mărit domeniul de aplicare al sedimentării până la granule cu dimensiunea de 0,25 μ , prin înlocuirea acțiunii accelerației gravitaționale cu accelerația centrifugală.
Optic	1. Metoda microscopiei clasice 2. Metoda microscopiei televizate 3. Metode ale laserului etc.	Asemenea metode se pot aplica pentru orice tipuri de rocă și pentru granulometrii corespunzătoare, de fapt mărimilor pe care le au acestea în componența rocilor și substanțelor minerale utile. Ele se mai numesc și <i>metode directe</i> . Sînt de precizie extrem de mare și rapide. Aplicabilitatea acestor metode nu este limitată.
Electric Laserului etc.		

metrice propriu-zise, deoarece alura și raportul ce există între ele conduc la o caracterizare a rocii studiate. În cazul acestor reprezentări grafice, pe abscisă se trece diametrul particulelor, în ordine descrescătoare și într-o scară logaritmică, iar pe ordonată, procentele în greutate a diverselor fracțiuni. Histograma redă modul de repartizare, pe dimensiuni, a granulelor materialului studiat. Ordonata maximă a histogramei indică greutatea procentuală a granulelor cu dimensiunile cele mai frecvente. Curba granulometrică este curba integrală a histogramei, avînd un punct de inflexiune în dreptul abscisei pentru care histograma prezintă un maxim. Orice ordonată a acestei curbe reprezintă cantitatea procentuală de granule cu diametrul egal sau mai mic decît diametrul din dreptul ordonatei respective. Alura, continuitatea histogramei și a curbilor granulometrice conduc la noțiunea de *roci gradulate* sau *negradulate*. Înclinarea curbei granulometrice dă indicații asupra raportului în care se găsesc mărimile particulelor. Numeric, uniformitatea sau neuniformitatea materialelor se exprimă prin *coeficientul de uniformitate* sau *neuniformitate*:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2.3)$$

unde : d_{10} este diametrul efectiv corespunzător la 10% din greutatea totală a materialului ;
 d_{60} — diametrul corespunzător la 60% din greutatea totală a materialului. Granula cu diametrul efectiv (d_{10}) este denumită *granulă eficace* și ea caracterizează permeabilitatea, capilaritatea și fenomenul de filtrare a materialului, în sensul că un material ideal

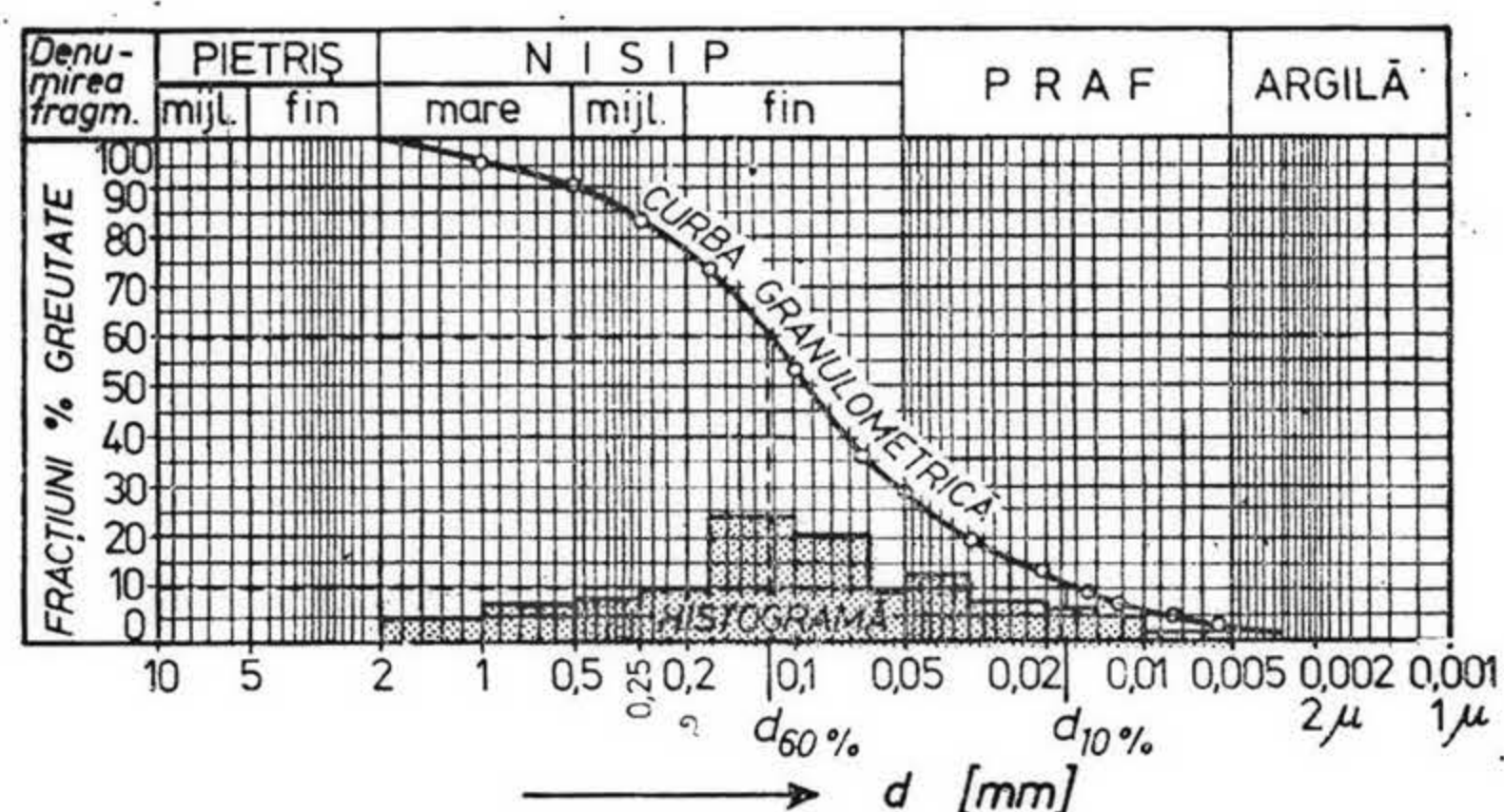


Fig. XVI.21. Curba granulometrică.

avînd toate granulele de mărimea celei eficace are aceeași caracteristici de permeabilitate, capilaritate, filtrare ca și materialul real pentru care s-a determinat diametrul efectiv respectiv.

După valoarea coeficientului de neuniformitate, rocile se clasifică conform tabelului XVI.5.

Tabelul XVI.5

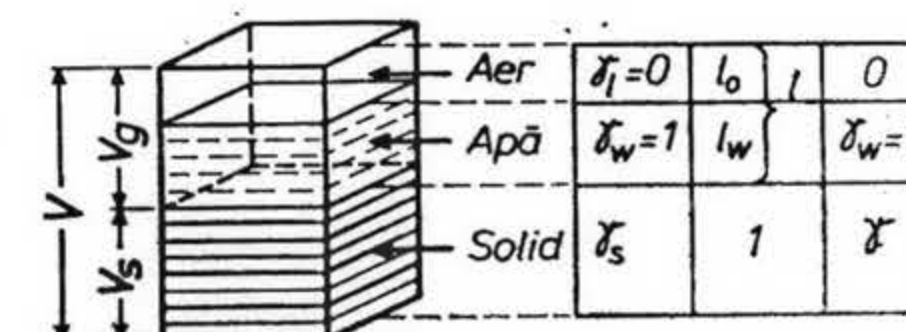
Clasificarea rocilor funcție de coeficientul de neuniformitate

Valoarea coeficientului de neuniformitate, U	Caracterizarea rocilor
$U < 5$	foarte uniforme
$5 < U < 15$	uniformitate medie
$U > 15$	foarte neuniforme

Porozitatea (n). Orice solid care conține goluri sau cavități (interstiții, pori, fisuri, caverne) legate sau nu între ele, distribuite regulat sau întimplător, poate fi numit *mediu* sau *material poros* dacă acestea se găsesc relativ frecvent în interiorul lui.

Golurile interioare poartă numele de *interstiții*, *spații poroase* sau simplu *pori*. Pori sînt distribuiți oricum în materialul poros și pot fi sau nu legați între ei. Spațiul poros integral, cu sau fără legături, se numește *spațiu poros total* și este caracterizat de un volum total al golurilor (V_{gt}). Spațiul interconectat se numește *spațiu poros efectiv* și este caracterizat de un volum efectiv al golurilor (V_{ge}). Rocile și substanțele minerale

Fig. XVI.22. Definirea porozității și a indicelui porilor.



utile sînt medii poroase naturale. Porozitatea (n) este proprietatea ce caracterizează, ca și medii poroase, rocile și substanțele minerale utile. Ea este definită (fig. XVI.22) de volumul total al golurilor din unitatea de volum a rocii, fiind reprezentată de raportul dintre dintre volumul golurilor (V_g) și volumul total (V):

$$n = \frac{V_g}{V} \quad (2.4)$$

Porozitatea este o mărime adimensională și ca atare se exprimă în fracțiuni ale unității sau în procente. De modul cum apare în roci, porozitatea poate fi de diferite tipuri: intergranulară (aceea dintre granulele de siliciu); intercristalină (între cristalele de calcit, dolomit); de soluție sau disolvare; de fractură; cavernoasă. Noțiunea de porozitate include atât pori din rocile granulare (porozitate interstițială cît și fisurile și golurile din rocile coezive (porozitate fisurată).

În contextul definirii mediului poros (total sau efectiv), porozitatea rocilor și a substanțelor minerale utile se poate clasifica în: *totală* (n_t) sau *aparentă*, caz în care volumul golurilor include totalitatea porilor interconectați sau nu, existenți în mediul considerat și *efectivă* (n_e) sau *reală*, caz în care volumul golurilor include numai pori care sînt interconectați în mediul considerat. Deci:

$$n_t = \frac{V_{gt}}{V}; \quad n_e = \frac{V_{ge}}{V} \quad (2.5)$$

Porozitatea efectivă caracterizează roca prin faptul că este acea porozitate prin care apa se poate deplasa sub acțiunea forțelor gravitaționale. Această caracteristică prezintă un mare interes din punct de vedere hidrogeologic și cantitativ corespunde *coeficientului capacității de cedare a apei de către rocă* (C). Valoarea porozității efective depinde de compoziția mineralogică și granulometrică a rocii. Pe măsura micșorării granulometriei crește diferența dintre porozitatea totală și efectivă, ajungîndu-se ca la argile n să tindă către zero, adică aceste roci practic sînt impermeabile. Porozitatea totală se poate exprima cantitativ funcție de o serie de alte caracteristici fizice (tabelul XVI.6). În general, porozitatea are o influență deosebită asupra caracteristicilor mecanice (de rezistență, elastice și reologice) ale rocilor. Este utilizată în o serie de probleme legate de rezistența, stabilitatea rocilor, de infiltrare a apelor, gazelor, acumulărilor și erupțiilor de gaze, a exploziilor de rocă și gaze. Valoric, porozitatea totală variază în limite largi — de la părți ale unui procent pînă la 90% și mai mult. Este acceptată o clasificare a rocilor după porozitate (tabelul XVI.7).

Tabelul XVI.6

Expresiile porozității și ale cifrei porilor

Criteriul de exprimare	Expresia porozității, n	Expresia cifrei porilor, e
Funcție de greutatea specifică și aparentă	$n = \frac{V_g}{V}; V_g = V - V_s$ $n = \frac{V - V_s}{V} = \left(1 - \frac{\gamma_a}{\gamma}\right)$	$e = \left(\frac{\gamma}{\gamma_a} - 1\right)$
Funcție de greutatea specifică, volumetrică și umiditatea W	$n = \left[1 - \frac{\gamma_a}{\gamma \left(1 + \frac{W}{100}\right)}\right]$	—
Funcție de cifra porilor respectiv de porozitate	$n = \frac{e}{1 + e}$	$e = \frac{n}{1 - n}$

Tabelul XVI.7

Clasificarea rocilor pe baza porozității

Caracterizarea rocii	Valoarea porozității [%]
Cu porozitate foarte mică	< 5
Cu porozitate mică	5–10
Cu porozitate medie	10–15
Cu porozitate ridicată	15–20
Cu porozitate foarte mare	> 20

Indicele porilor (e) sau cifra porilor reprezintă raportul dintre volumul golurilor (V_g), (fig. XVI.22) și volumul scheletului mineral sau real al rocii :

$$e = \frac{V_g}{V_s} \quad (2.6)$$

Indicele porilor se poate determina și în funcție de o serie de caracteristici fizice (v. tabelul XVI.6). El prezintă o deosebită importanță în calculul tasărilor, a caracterizării rocilor în vederea utilizării lor pentru fundații etc, sens în care rocile pămîntoase sînt clasificate (tabelul XVI.8).

Tabelul XVI.8

Clasificarea rocilor după indicele porilor

Caracterizarea rocilor	Domeniul de varietate a indicelui porilor, e
Bune ca terenuri pentru fundații	$e < 0,5$
Acceptabile pentru fundații	$0,5 < e < 1$
Necesită lucrări artificiale suplimentare de compactare	$e > 1$

Dintre proprietățile fizice ce caracterizează trifazic roca se menționează : umiditatea naturală (W) ; umiditatea la saturație (W_s) ; gradul de saturație (S) ; permeabilitatea rocilor ; limitele de consistență.

Umiditatea naturală (W) este raportul dintre cantitatea de apă pe care o conține roca în stare naturală (G_w) și greutatea scheletului mineral solid (G_s). Se determină atât pe cale de laborator cît și *in situ*. Pe cale de laborator se determină în baza relației experimentale :

$$W = \frac{G - G_1}{G_1 - G_2} \quad (2.7)$$

unde : G este greutatea probei de rocă în stare naturală plus tara ;

G_1 — greutatea probei după uscarea la 105°C plus tara ;

G_2 — greutatea țarei.

Umiditatea la saturație (W_s) reprezintă raportul dintre cantitatea maximă de apă ($w_{w,max}$) și greutatea scheletului mineral al rocii. Ea caracterizează de fapt conținutul total de apă la saturarea completă a acesteia și mai poate fi denumită *capacitate totală de umiditate* a unei rocii. În contextul unei asemenea noțiuni, des utilizate în domeniul studierii apelor subterane, a problemelor de asecare etc. se disting : *capacitatea de reținere* și *capacitatea de cedare a apei*, parametri ce exprimă proprietatea pe care o au rocile de a reține, respectiv de a ceda o anumită cantitate de apă în condiții naturale de lucru. Capacitatea de reținere include apa de natura higroscopică, apa legată molecular și o parte din apa capilară. Capacitatea de cedare se referă în genere la apa de natură gravitațională și sub formă de vapori, fiind dependentă de prezența porozității efective sau active a rocii. Deci, capacitatea de cedare a apei nu este o constantă ci variază cu durata drenării și în funcție de cantitatea de apă existentă în rocă. Astfel, în cazul rocilor saturate, la început

cedarea apei se produce cu viteză maximă, scăzând apoi pînă la încetarea oricărei curgeri. O asemenea caracteristică este în funcție de:

— compoziția granulometrică (scade pe măsura micșorării mărimii granulelor componente), tabelul XVI.9;

Tabelul XVI.9

Variația capacității de cedare a apei funcție de granulometria rocilor elastice

Roca	Valoarea capacității de cedare a apei
Nisip grosier	0,25—0,35
Nisip mijlociu	0,17—0,21
Nisip fin	0,10—0,18
Nisip prăfos	0,05—0,10

— de structura, textura și gradul de fisurație a rocilor, depinzînd de densitatea de fisurație și gradul de deschidere al fisurilor.

Astfel rocile de tipul gnaisurilor, micașturilor, caracterizate de o fisurație dezvoltată, dar de dimensiuni capilare, au capacitatea de reținere mare și o capacitate de cedare scăzută, pe cînd calcarele masive, granitele, granodioritele și în genere rocile cristaline, cu fisuri bine dezvoltate și pronunțat deschise, au o capacitate de reținere foarte redusă. În funcție de raportul dintre capacitatea de cedare și capacitatea de reținere, rocile saturate se împart în: *acviclude* — cele cu o capacitate de cedare nulă și *acvifere* — cele cu o anumită capacitate de cedare a apei.

Starea de saturație a unei roci poate fi caracterizată și prin *gradul de saturație* (S), adică:

$$S = \frac{W}{W_s} \quad (2.8)$$

În funcție de gradul de saturație rocile se pot clasifica conform tabelului XVI.10.

Tabelul XVI.10

Clasificarea rocilor funcție de gradul de saturație

Caracterizarea rocilor	Valoarea gradului de saturație
Uscate	$0 < S < 0,4$
Umede	$0,4 < S < 0,8$
Foarte umede	$0,8 < S < 1$
Saturate	$S = 1$

Permeabilitatea este proprietatea pe care o au rocile de a permite trecerea sau scurgerea apei (și a gazelor) prin ele. Estimarea acestei proprietăți poate fi exprimată valoric prin *coeficientul de permeabilitate* (k).

În condiții de laborator k se poate determina printr-o serie de metode, funcție de natura rocilor (tabelul XVI.11). În funcție de natura rocilor clastice sau coezive, permeabilitatea se manifestă în mod diferit, atît ca intensitate cît și ca fenomen.

Tabelul XVI.11

Metode de determinare a coeficientului de permeabilitate k

Natura rocilor	Metoda	Procedeul	Relațiile de calcul
Clastice	Cu gradient	Variabil	$k = 2,3 \frac{A_1}{A_2} \frac{l}{t} \lg \frac{h_i}{h_f}$
		Constant	$k = \frac{Q}{A \cdot i \cdot t}$
Semistîncioase și stîncioase	Percolării	Longitudinale	$k = \frac{QL}{p \cdot A}$ sau $k = \frac{V \cdot L}{A \cdot p \cdot t}$
		Radiale <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; text-align: center;"> <div style="display: inline-block; transform: rotate(45deg); width: 0; height: 0; border-left: 5px solid transparent; border-right: 5px solid transparent; border-bottom: 10px solid black;"></div> <div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg); width: 0; height: 0; border-left: 5px solid transparent; border-right: 5px solid transparent; border-bottom: 10px solid black;"></div> </div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; text-align: center;"> <div style="display: inline-block; transform: rotate(45deg); width: 0; height: 0; border-left: 5px solid transparent; border-right: 5px solid transparent; border-bottom: 10px solid black;"></div> <div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg); width: 0; height: 0; border-left: 5px solid transparent; border-right: 5px solid transparent; border-bottom: 10px solid black;"></div> </div> </div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 5px;">divergentă convergentă</div>	$k = \frac{Q}{A \cdot S}$ $k = \frac{Q}{2\pi L \cdot p} \cdot \lg \frac{R_2}{R_1}$

Semnificații: A_1 și A_2 — secțiunea cilindrului gradat, respectiv a probei; l — lungimea probei; h_i ; h_f — înălțimea inițială și finală a apei în cilindru; Q — debitul de apă; i — gradientul hidraulic; p — presiunea de lucru; V — volumul de apă ce trece prin probă în timpul t ; L — lungimea epruvetei; R_1 ; R_2 — razele interioară și exterioară a epruvetei.

În mod concret, în cazul rocilor clastice, lipsite de coeziune, permeabilitatea se manifestă printr-un *proces de filtrare*; în cazul rocilor coezive, dar fisurate — printr-un *proces de fluație*, iar în cazul rocilor coezive nefisurate, caracterizate de o anumită porozitate reală — prin *coeficientul de permeabilitate propriu-zis*.

Clasificarea rocilor funcție de coeficienții de filtrare și permeabilitate

Grupa	Caracterizarea rocii	Coeficientul de filtrare, k_f pentru ape cu mineraliza- ție redusă și $t^0 = 20^\circ\text{C}$		Coeficientul de permeabilitate k cm/s
		m/zi	cm/s	
I	Roci cu permeabilitate foarte mare: bolovănișuri, pietrișuri cu nisip grosier, calcare puternic fisurate, roci intens fisurate	100 — 1000 și mai mare	0, 12 — 1, 16	$1, 2 \cdot 10^{-6} - 1, 2 \cdot 10^{-5}$
II	Roci cu permeabilitate mare: bolovănișuri și pietrișuri colmatate cu nisip fin, nisipuri groșiere, roci fisurate	10 — 100	0, 012 — 0, 12	$1, 2 \cdot 10^{-7} - 1, 2 \cdot 10^{-6}$
III	Roci permeabile: bolovănișuri și pietrișuri colmatate cu nisip fin și parțial cu argilă, nisipuri mijlocii și fine, roci puțin fisurate.	1 — 10	$1, 2 \cdot 10^{-3} - 1, 2 \cdot 10^{-2}$	$1, 2 \cdot 10^{-8} - 1, 2 \cdot 10^{-7}$
IV	Roci slab permeabile: nisipuri fine, nisipuri argiloase, roci cu fisurație fină, loessuri.	0, 1 — 1	$1, 2 \cdot 10^{-4} - 1, 2 \cdot 10^{-3}$	$1, 2 \cdot 10^{-9} - 1, 2 \cdot 10^{-8}$
V	Roci foarte slab permeabile: argile nisipoase, prafuri, roci foarte slab fisurate	0, 001 — 0, 1	$1, 2 \cdot 10^{-6} - 1, 2 \cdot 10^{-4}$	$1, 2 \cdot 10^{-10} - 1, 2 \cdot 10^{-9}$
VI	Roci practic impermeabile: argile, marne, roci masive	< 0, 001	< $1, 2 \cdot 10^{-6}$	< $1, 2 \cdot 10^{-11}$

Procesul de filtrare, în cazul rocilor elastice, este evidențiat de capacitatea filtrantă a lor, exprimată prin *coeficientul de filtrare* (k_f), definit ca fiind viteza de filtrare a curentului acvifer la un gradient hidraulic unitar și la o temperatură dată:

$$k_f = k \frac{\gamma_w}{\eta} \quad (2.9)$$

unde η este coeficientul de vîscozitate dinamică.

În funcție de coeficienții de filtrare și permeabilitate, rocile pot fi clasificate în 6 grupe (tabelul XVI.12). Se precizează că în cazul rocilor carstice și fisurate, permeabilitatea se poate concretiza practic prin noțiunea de *absorbție specifică* sau *capacitatea specifică de debitare* (q), determinată prin pompări experimentale și exprimată în l/min pe denivelare unitară și 1 m grosime de orizont acvifer deschis (tabelul XVI.13).

Tabelul XVI.13

Clasificarea rocilor fisurate funcție de capacitatea de debitare

Clasa	Caracterizarea rocii	Valoarea capacității de debitare, q [l/min]
1	Roci practic impermeabile	< 0,001
2	Roci slab permeabile	0,001 — 0,01
3	Roci permeabile	0,01 — 0,1
4	Roci cu permeabilitate medie	0,1 — 1
5	Roci cu permeabilitate ridicată	1 — 10
6	Roci cu permeabilitate foarte mare	10 — 100
7	Roci cu permeabilitate excepțională	> 100

Limitele de consistență sînt caracteristice rocilor argiloase, argilo-marnoase și celor predispuse alterărilor de natură chimică. Funcție de cantitatea de apă liberă conținută de asemenea roci, acestea se pot prezenta sub diferite stări de consistență — începînd

de la starea unui solid tare pînă la starea unui lichid viscos (fig. XVI.23). Separarea dintre cele patru stări (fig. XVI.23) a realizat-o Atterberger după anumite limite, (fig. XVI.23) :

— limita superioară de plasticitate sau limita inferioară de curgere (W_c), adică umiditatea W_c (fig. XVI.23) corespunzătoare trecerii rocii din starea plastică în starea de curgere;

— limita inferioară de plasticitate sau limita de frământare (W_f), adică umiditatea W_f corespunzătoare trecerii rocii din starea plastică la starea unui corp semitare, (fig. XVI.23);

— limita de contracție (W_s), adică umiditatea W_s la punctul de trecere a rocii din starea semitare la starea unui corp tare.

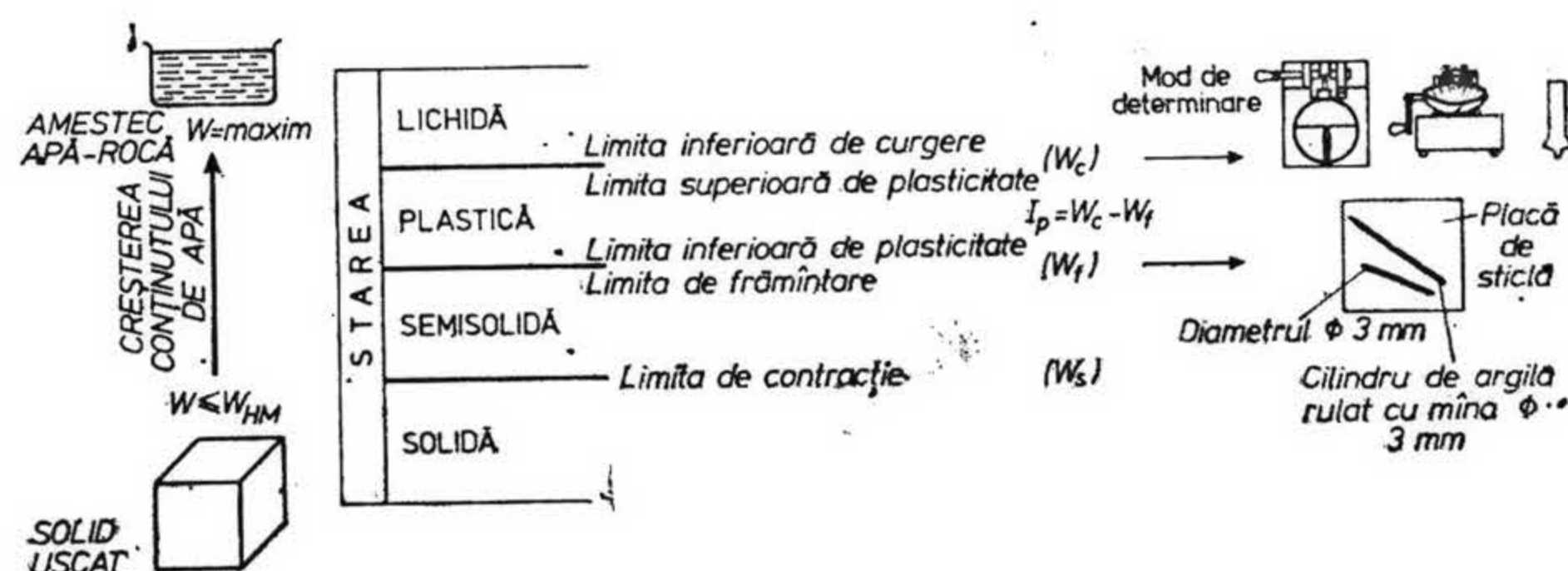


Fig. XVI.23. Limitele de consistență.

Intervalul dintre două limite consecutive definește zona conținutului de apă care corespunde unei stări determinate. Valoric, limitele se determină ca umidități pe probe de rocă constituite din fracțiuni cu o granulație ce trece prin sita de 0,42 mm și cu metodologii redată de literatura de specialitate. Din punct de vedere practic, pe baza limitelor lui Atterberger rocile se pot caracteriza prin o serie de indici (tabelul XVI.14). În funcție de

Tabelul XVI.14

Indici ce caracterizează rocile în funcție de limitele de consistență

Denumirea indicelui	Expresia analitică
Indice de plasticitate	$I_p = W_c - W_f$
Indice de consistență	$I_c = \frac{W_c - W}{W_c - W_f}$ pentru $W_c > W$
	$I_c = \frac{W - W_c}{W_c - W_f}$ pentru $W > W_c$

Tabelul XVI.15

Clasificarea rocilor funcție de indicii de consistență

După indicii de plasticitate, I_p		După indicii de consistență, I_c		
Categoria rocii	Valoarea lui I_p	Categoria rocii	Valoarea indicelui I_c	Caracterizare
Nisipuri	$I_p \leq 1$	Roci curgătoare	$I_c = 0$	Nu se pot folosi pentru fundații — instabile
	$I_p > 1$	Roci plastice curgătoare	$0 < I_c < 0,25$	Nu se pot folosi pentru fundații — instabile
Roci argiloase:	$1 < I_p < 7$	Roci moi, cu plasticitate redusă	$0,25 < I_c < 0,5$	Tasări foarte mari — instabile
	$7 < I_p < 17$ $I_p > 17$ $17 < I_p < 30$	Roci consistente	$0,5 < I_c < 0,75$	Tasări mari — stabilitate foarte mică
obișnuite	$30 < I_p < 60$	Roci vitroase	$0,75 < I_c < 1$	Tasări medii — stabilitate mică
grase	$60 < I_p < 100$	Roci tari	$I_c = 1$	Tasări mici — stabile
foarte grase	$I_p > 100$	Roci foarte tari	$I_c > 1$	Nu prezintă tasări — foarte stabile

acești indici se pot clasifica conform tabelului XVI.15. În domeniul mineritului, în afara caracterizării rocii ca stare fizică, a comportamentului plastic al rocilor argiloase sau cu componenți argileși etc., parametrii de consistență pot servi atât la stabilirea calității burajului (fig. XVI.24), cât și la alegerea materialului corespunzător pentru realizarea pulpelor necesare inundării focurilor subterane prin înămolire. Calitățile ce trebuie să le aibă o argilă în scopurile precizate sînt redate în tabelul XVI.16.

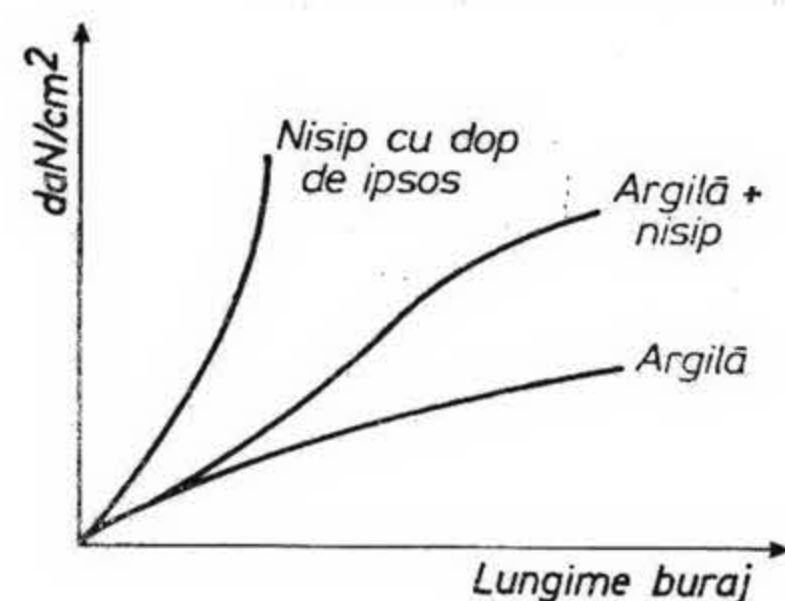


Fig. XVI.24. Rezistența la azvîrlire din gaura de mină a burajului din amestecuri diferite.

Tabelul XVI.16

Calități pe care trebuie să le îndeplinească o argilă pentru buraj

Calitatea burajului	Calitatea pulpei la înămolire
Argilă: $20 < W_c < 35$; $10 < I_p < 30$ rezistența la azvîrlire din gaura de mină 50 MPa	Argilă nisipoasă: $\gamma = 2,45 - 2,8$ $\gamma_a = 1,72 - 1,94$ $W = 17 - 32$ $I_p = 6,6 - 24$

Obs.: Compoziția exactă și proprietățile materialului folosit la înămolire se stabilesc funcție de natura zăcămintului, condițiile geologice și petrografice ale rocilor înconjurătoare.

2.3. CARACTERISTICI MECANICE

Proprietatea pe care o au rocile și substanțele minerale utile supuse solicitării de a se opune acțiunii de distrugere a structurii lor și de a-și păstra, între anumite limite, forma geometrică se numește *rezistență*. Rezistența unei roci este o mărime variabilă a cărei modificare este determinată de factori ce depind de natura rocii, de orientarea și de direcțiile de solicitare, de viteza de solicitare și de durata solicitărilor.

Rezistența rocilor este caracterizată de o serie de proprietăți mecanice. Cele mai importante caracteristici mecanice de rezistență sînt: *rezistența de rupere la compresiune*

monoaxială (σ_c); *rezistența de rupere la tracțiune* (σ_t); *rezistența de rupere la forfecare* (τ_f). Cele mai multe fenomene, probleme, din domeniul minier implică una sau alta din aceste proprietăți. Factorii care influențează rezultatele încercărilor sînt: caracteristicile echipamentului de încercare, măsurarea, mărimea epruvetelor și forma lor, pregătirea și realizarea suprafețelor după care se solicită epruvetele, vitezele de solicitare, temperatura și umiditatea. Astfel, din cauză că deformarea de rupere a rocii este mică (circa 0,001—0,003 la tracțiune și de 0,002—0,025 la compresiune), instrumentele de măsură a deformărilor trebuie să fie foarte sensibile. Asemenea instrumente sînt construite fie pe principiul mecanic (microcomparatoare cu precizia de 1/100—1/1000), optic, tensometric sau amplificare electronică. Ca echipamente de solicitare se folosesc mașinile universale de

Tabelul XVI.17

Forme de epruvete utilizate în determinarea caracteristicilor mecanice de rezistență, elastice, reologice

Grupa	Tipul de epruvete	Tipul solicitării
Regulate	Cuburi	Compresiune
	Prisme cu baza un pătrat	Compresiune, tracțiune, forfecare
	Prisme cu baza un dreptunghi	Compresiune
	Cilindri	Compresiune, tracțiune, forfecare
	Bare cu secțiunea transversală un pătrat	Încovoiere, tracțiune pentru roci
	Bare cu secțiunea transversală un dreptunghi	Cu rezistența la tracțiune mai mică decît rezistența adezivului
Neregulate	Aproximativ sferice De forma alungită	Compresiune pe cale directă Tracțiune, forfecare
	Bulgări cu contur neregulat	Consacare statică, concasare dinamică
Speciale	Pișcot în diferite variante	La tracțiune pură
	Forme de tipul brichetelor	Compresiune după diferite direcții
	Forme de discuri, forme de șaibe	Tracțiune și forfecare

încercat construite pe principiul hidraulic, cu limite ale sarcinii dezvoltate ce poate varia între 0 și $3 \cdot 10^3$ kN sau mașinile universale de încercat de tip rigid acționate electronic (instalații inductive).

Epruvetele utilizate sînt de formă regulată, neregulată și speciale (tabelul XVI.17). Epruvetele de formă regulată sînt confecționate cel mai frecvent prin carotare la diametrul de 42 mm și tăiate apoi la un coeficient de sveltețe λ , în funcție de tipul solicitării. Astfel, pentru încercarea la compresiune monoaxială se recomandă un $\lambda = 2$. Pentru încercarea la tracțiune, în funcție de procedeul folosit, se recomandă $\lambda = 1$ (în cazul procedurii brazilian $\lambda = 1$; în cazul comprimării cilindrilor sau a epruvetelor de formă prismatică după o generatoare $\lambda = 1-2,5$). Pentru solicitări la forfecare $\lambda = 1$, iar pentru încercările poliaxiale $\lambda = 2-3$.

Rezistența de rupere la compresiune monoaxială (σ_c) este definită ca fiind valoarea tensiunii de rupere a epruvetelor de rocă supuse solicitării la compresiune:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.10)$$

unde: F este forța aplicată;

A — suprafața de solicitare a epruvetei.

O serie de factori afectează valoarea acestei rezistențe: frecarea între platanele mașinii de încercat și suprafețele epruvetelor; geometria epruvetei (forma și efectul de scară); viteza de solicitare; condițiile înconjurătoare (umiditate, temperatură etc.). La încercare trebuie respectate condițiile date în tabelul XVI.18.

Dacă nu se iau în considerare factorii respectivi și influența lor și nu se respectă condițiile impuse de tabelul XVI.18, atunci rezultatele pot fi eronate și în mod virtual nefolositoare.

Rezistența de rupere la compresiune se determină pe cale directă și indirectă pe diferite forme de epruvete, în funcție de natura rocii, conform tabelului XVI.19. Între rezistența de rupere la compresiune determinată pe cale directă σ_c și aceea determinată pe cale indirectă există relația $\sigma_c = k \cdot \sigma_c$, unde k are valorile 0,08 pentru rocile casante și 0,15—0,19 pentru rocile cu un comportament ductil. Valoric, rezistența de rupere la compresiune monoaxială este situată între limite extrem de largi, adică de la circa 0,1 MPa (roci foarte slab cimentate) pînă la 500 MPa (roci de tipul bazaltelor, granitelor etc.).

Rezistența de rupere la tracțiune monoaxială (σ_t) este definită ca fiind valoarea tensiunii la rupere a epruvetelor de rocă supuse unor solicitări la tracțiune. Deci:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.11)$$

Încercarea la tracțiune pură se realizează pe epruvete de formă specială (tabelul XVI.20). Metoda prezintă dificultăți în ceea ce privește confecționarea epruvetelor, în sensul că este extrem de pretențioasă și anevoioasă. Totodată, datorită sistemului de prindere a epruvetelor, în punctele de contact rocă-sistem de prindere se nasc eforturi de forfecare care slăbesc epruveta și aceasta se va rupe după plane ce trec prin aceste puncte, afectînd astfel rezultatele încercării la tracțiune pură. În scopuri practice s-au creat metode indirecte de determinare (tabelul XVI.20) a rezistenței la tracțiune. Dintre acestea, uti-

Tabelul XVI.18

Condiții ce trebuie îndeplinite la prelucrarea epruvetelor de rocă pentru încercări

Încercare la compresiune	Încercare la tracțiune simplă	Încercare la forfecare simplă
<ol style="list-style-type: none"> 1. Diametrul epruvetei de 42 mm și mai mare. 2. Coeficientul de sveltețe $\lambda \geq 2$. Dacă $\lambda = 1$ atunci echivalentul rezistenței pentru $\lambda = 2$ se obține prin $(\sigma_c)\lambda=2 = 0,9(\sigma_c)\lambda=1$. 3. Planitatea de 0,02 mm, suprafețele perfect șlefuite. 4. Perpendicularitatea suprafețelor pe generatoare cît mai bună, eroare de $\pm 1,0^\circ$. 5. Viteza de solicitare între 0,1—1,0 [MPa/s] 6. Se vor încerca minimum 10 epruvete pentru o rocă (de preferință mai multe) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pregătirea epruvetelor este aceeași ca și la compresiune, cu excepția că $\lambda > 2$. 2. Epruvetele se vor prinde de platane cu cimenturi de natură epoxi. 3. Viteza de solicitare 0,1—0,5 [MPa/s] <p><i>Observații</i> În cazul încercării braziliene, epruvetele din punct de vedere geometric se vor prelucra ca și la compresiune. Coeficientul $0,5 \leq \lambda \leq 1,0$.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Numărul minim de epruvete încercate este de 10 sau de preferat mai multe. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diametrul epruvetei de 42 mm și mai mare. 2. Coeficientul de sveltețe $\lambda \geq 2,5$. 3. Confecționarea epruvetelor în mod asemănător cu cele de la compresiune. 4. Viteza de solicitare între 0,1—1,0 [MPa/s] 5. Numărul minim de epruvete încercate de minimum 3 și de preferință mai mare.

lizată în mod frecvent este metoda braziliană sau prin comprimare a epruvetelor în formă de disc respectiv cilindru, după generatoarele lor. Valoric este cea mai mică dintre rezistențele rocii.

Rezistența de rupere la forfecare monoaxială (τ_f) este tensiunea la rupere produsă de solicitarea la forfecare simplă aplicată pe un plan pe care forța normală este nulă, deci:

$$\tau_f = \frac{T}{A} \quad [\text{N/m}^2] \text{ sau } [\text{Pa}] \quad (2.12)$$

unde T este forța de forfecare necesară producerii ruperii de-a lungul planului considerat. Pentru rocile semistîncoase și stîncoase procedeul cel mai răspîndit este forfecarea simplă

Tabelul XVI.19 Metode de determinare a rezistenței la compresiune monoaxială

METODA DE DETERMINARE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE MONOAXIALĂ	PRINCIPIUL DE DETERMINARE	CARACTERIZAREA EPRUVETELOR FOLOSITE	RELAȚII DE DETERMINARE A REZISTENȚEI DE RUPERE LA COMPRESIUNE MONOAXIALĂ
Pe epruvete de formă geometrică regulată supuse unei solicitări la compresiune.		Cuburi; prisme; cilindri; utilizarea frecventă a formelor cilindrice cu dimensiuni: $1,5 < \lambda \leq 3$	$\sigma_c = \frac{F}{A}$ [N/m ²] sau [Pa]
Pe epruvete de formă geometrică neregulată supuse unei solicitări la compresiune.		Forma epruvetei: neregulată, cioplită aproximativ sferică, cu un volum de cca 100 cm ³ (caz în care efectul de scară nu are influență asupra rezultatelor)	$\sigma'_c = \frac{F}{A}$, unde: $A = \sqrt{\frac{3}{4} V^2} = 0,92 \sqrt{V^2} = \sqrt{V^2}$ $\sigma'_c = F \left(\frac{1}{V}\right)^{\frac{2}{3}} = F \left(\frac{x_0}{G}\right)^{\frac{2}{3}}$ $\sigma'_c = F \left(\frac{x_0}{G}\right)^{0,67}$ [N/m ²] sau [Pa] G - greutatea epruvetei încercate
Pe epruvete de formă geometrică neregulată supuse solicitărilor la tracțiune și forfecare, rezultate din care se determină grafic rezistența de rupere la compresiune.		Epruvete de formă neregulată încasate în calupuri de beton de formă regulată.	Se folosesc relațiile înfășurătoare de tip cicloidal. Rezistența la compresiune este diametrul cercului I rezultat. $\sigma_1 = \frac{F}{A}$; $\sigma_2 = \frac{F}{A}$; $\tau = \frac{F}{A}$ A - suprafața determ. prin planimetrare sau metoda cîntării
Pe epruvete de formă geometrică neregulată prin:		Epruvetele utilizate sînt probele colectate din frontul de lucru (cu dimensiuni mai mari de 10 mm și o cantitate de cca. 40-60g).	$f = \frac{20n}{h}$ (n=3 sau 5) h - înălțimea citită pe volumometru corespunzătoare lui n; n - numărul de căderi ale greutății G; $f = \frac{C_g - 2}{7,5}$, unde: $C_g = 92/q$; q = 100 G ₂ /G ₁ [%] 92 - efortul specific maxim produs în instalația de sfărîmăre-concasare [N/m ²]; q - cantit. procentuală de praf; C _g - coeficient de rezistență
Concasare dinamică			
Concasare statică		Probe colectate din frontul de lucru (cu dimensiuni cuprinse între 5-7 mm)	

Tabelul XVI.20 Metode de determinare a rezistenței de rupere la tracțiune monoaxială

METODA DE DETERMINARE	PROCEDEUL DE DETERMINARE	REPREZENTAREA GRAFICĂ	RELAȚIA DE CALCUL
Încercări prin solicitare la tracțiune	Solicitarea la tracțiune a epruvetelor de formă specială: - pișcot; - bară; - placă		$\sigma_t = \frac{F}{A}$ [N/m ²] sau [Pa] F - forța de solicitare; A - secțiunea transversală a epruvetei
Încercări prin solicitare la încovoiere	Solicitarea la încovoiere a epruvetelor de formă: - prismatică; - cilindrică; - discoidală		$\sigma_t = -\frac{3(1+\mu)F}{2\pi h} \left[\frac{1}{1+\mu} + \log_e \frac{r_d}{r_p} - \frac{1-\mu}{1+\mu} \frac{r_p^2}{4r_d^2} \right]$
Încercări prin solicitare la compresiune	Procedeul brazilian: - Compresiunea diametrală a cilindrilor - Compresiunea după diagonală a prismelor		$\sigma_t = \frac{2F}{\pi dh}$ [N/m ²] sau [Pa]
Încercări prin solicitare la tracțiune	Solicitarea la tracțiune		$\sigma_t = \frac{F}{A}$ [N/m ²] sau [Pa]

cu ajutorul matritelor oblice (fig. XVI.25). Procedul se poate generaliza pentru orice forme de epruvete—regulate și neregulate. Încercarea se realizează la diferite unghiuri, în raport cu direcția de solicitare la compresiune. Relațiile de calcul sînt :

$$\sigma_f = \frac{F}{A} \cdot \sin \alpha$$

$$\tau_f = \frac{F}{d \cdot h} \cos \alpha$$

[N/m²] sau [Pa] (2.13)

În cazul rocilor clastice, a rocilor slab coezive (pămînturi, roci argiloase etc.), determinarea rezistenței la forfecare se realizează prin *procedul casetelor de forfecare* (fig. XI.26) Rezistența la forfecare a rocilor se situează între limitele : $\sigma_c > \tau_f > \sigma_t$.

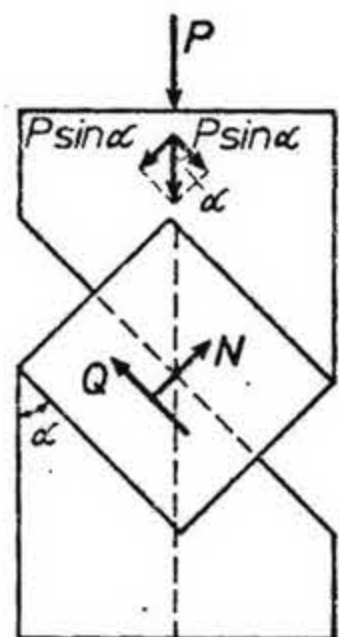


Fig. XVI.25. Matrită de forfecare.

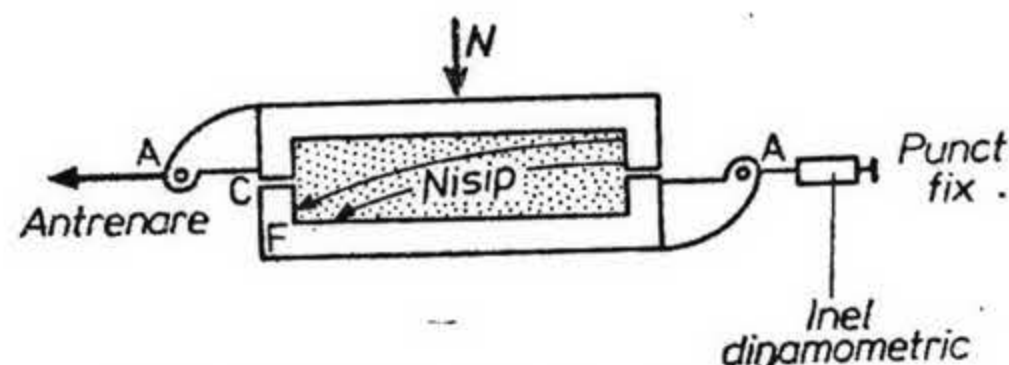


Fig. XVI.26. Casete de forfecare.

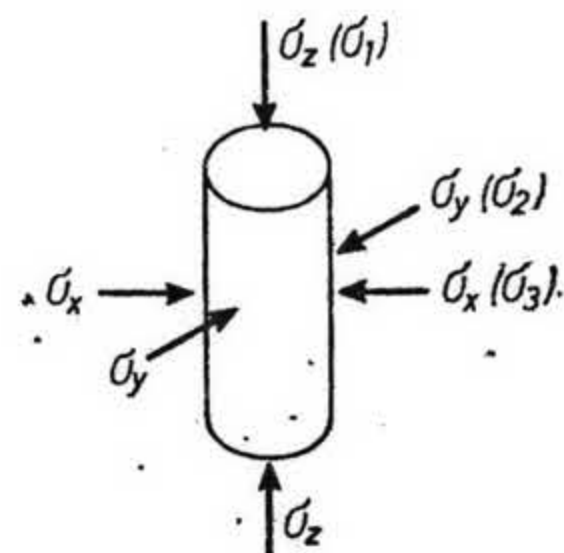


Fig. XVI.27. Definirea solicitării triaxiale.

Echipamentul necesar solicitării este redat schematic în fig. XVI.28. Practic cel mai ușor de realizat este încercarea de tip axial simetric. Epruveta, sub formă cilindrică, cu $\lambda = 2-3$, învelită într-o membrană de cauciuc, este introdusă într-o celulă triaxială (fig. XVI.29). În fluidul ce umple celula se creează o presiune hidrostatică ($\sigma_1 = \sigma_2$), iar prin intermediul pistonului poate fi aplicată o forță ce creează efortul σ_3 . Starea de

Rezistența rocilor la încercări poliaxiale. Încercările la solicitări statice poliaxiale sînt de o extremă importanță în stabilirea unui comportament real, heterogen al rocilor. Dintre încercările poliaxiale, importanță pentru domeniul minier este solicitarea triaxială, a cărei definire rezultă din fig. XVI.27. În general, ea poate fi realizată prin diferite tipuri de solicitări: compresiune, tracțiune, forfecare, răsucire etc. Indiferent de tipul de solicitare, încercarea triaxială se poate diferenția în :

- încercare *cubică*, cînd $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ sau ($\sigma_x \neq \sigma_y \neq \sigma_z$);
- încercare *cilindrică* sau *axial simetrică*, cînd $\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$, respectiv ($\sigma_x = \sigma_y \neq \sigma_z$);
- încercare *izotropă* sau *hidrostatică*, cînd $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$, respectiv ($\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$),

tensiune ce solicită epruveta este o rezultantă a : (1) tensorului sferic de tensiune $|T_{\sigma_0}| = \sigma_1 = \sigma_2$ și (2) deviatorului de tensiune $|D_{\sigma}| = \sigma_3 - \sigma_1$. Încercarea se desfășoară în două etape : prima, în care se aplică tensorul sferic $|T_{\sigma_0}| = \sigma_1$ și a doua etapă, în care se mărește continuu deviatorul $|D_{\sigma}|$, pînă ce are loc ruperea epruvetei. Elementele ce trebuie măsurate în timpul încercării sînt : deplasările și variațiile de volum ale epruvetei. Dintre tipurile de încercări precizate, tipul cubic oferă însă indiciile cele mai prețioase și reale referitoare la modul de deformare. Asemenea încercări întîmpină însă greutăți în ceea ce privește realizarea unor instalații corespunzătoare.

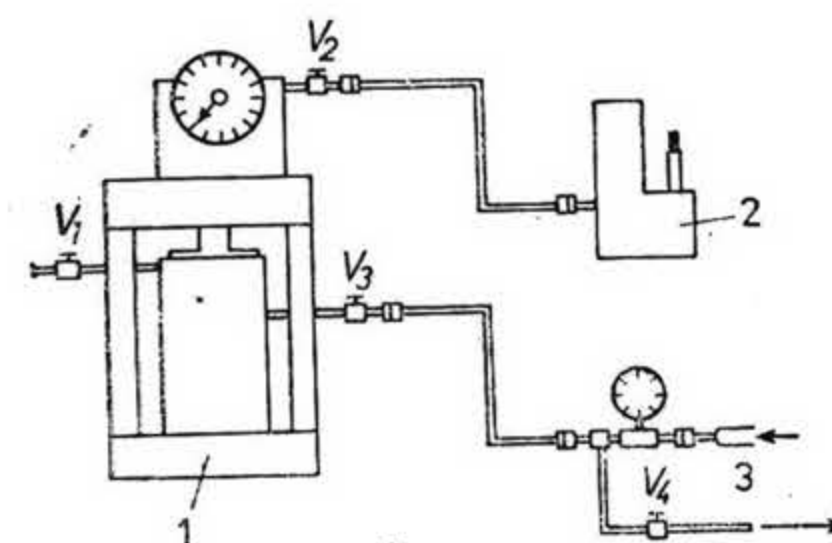


Fig. XVI.28. Echipamentul necesar solicitării triaxiale :

1 — presă hidrostatică ; 2 — pompă hidrostatică pentru solicitarea axială ; 3 — pompă hidrostatică pentru solicitarea laterală.

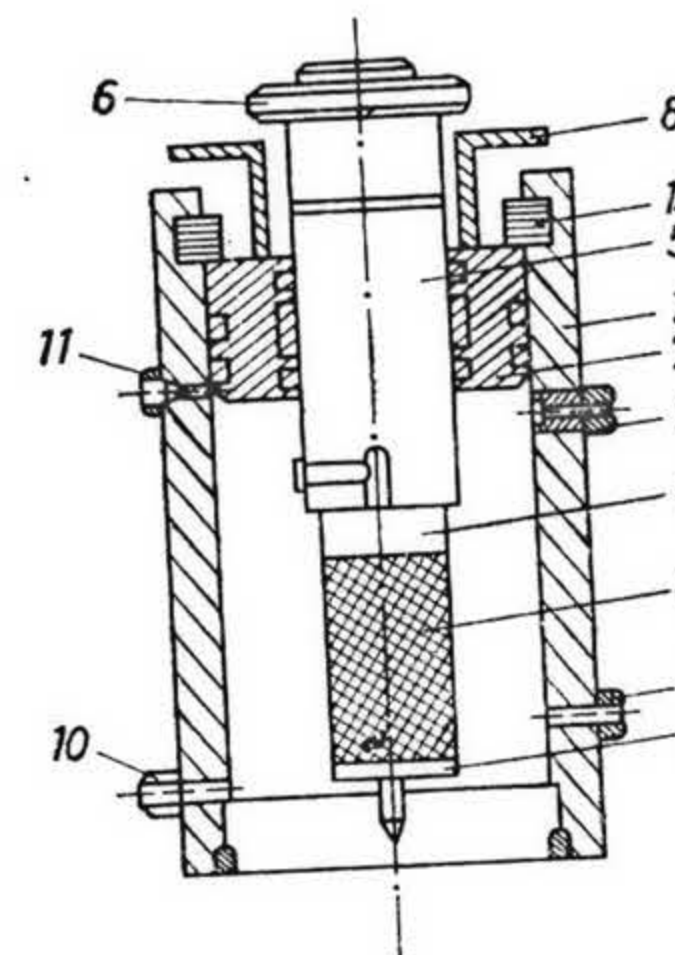


Fig. XVI.29. Celulă triaxială : 1 — cilindru ; 2-4 — suport inferior și superior ; 3 — eșantion de rocă ; 5 — piston de solicitare ; 6 — guler pentru delimitare ; 7 — piston pentru etanșare ; 8 — minier ; 9-12 — orificii pentru legarea aparatului cu aparatura de control ; 13 — inel de siguranță.

Coeziunea și unghiul de frecare interioară. Forța de legătură dintre particulele solide ale unei roci și care se opune la acțiunea de desprindere sau de alunecare produsă de solicitări exterioare se numește *coeziunea rocii* și se notează cu c . Ea poate fi reală și aparentă. Are dimensiunile unei tensiuni și se măsoară în N/m² sau Pa. *Unghiul de frecare interioară* este unghiul a cărui tangentă trigonometrică reprezintă coeficientul de frecare interioară dintre particulele rocii, adică $\mu_1 = \tan \varphi$.

Cantitativ, coeziunea și unghiul de frecare interioară se determină experimental prin o serie de metode. Metodele de determinare s-au diversificat în funcție de tipul solicitării. Astfel, *metoda Mohr* (fig. XVI.30) și *metoda Winkel* utilizează, pentru determinarea coeziunii și a unghiului de frecare interioară, valorile rezistențelor la compresiune și la tracțiune monoaxială (σ_c și σ_t) (fig. XVI.31).

Încercarea la forfecare monoaxială, în baza criteriului de rupere a lui *Coulumb* efectuată la diferite unghiuri de forfecare (pentru roci stincoase cu utilizarea matrițelor oblice), (fig. XVI.32) sau la diferite forțe normale N (pentru roci argiloase cu utilizarea casetelor orizontale sau verticale de forfecare), (fig. XVI.33) constituie un procedeu de determinare a coeziunii și a unghiului de frecare interioară.

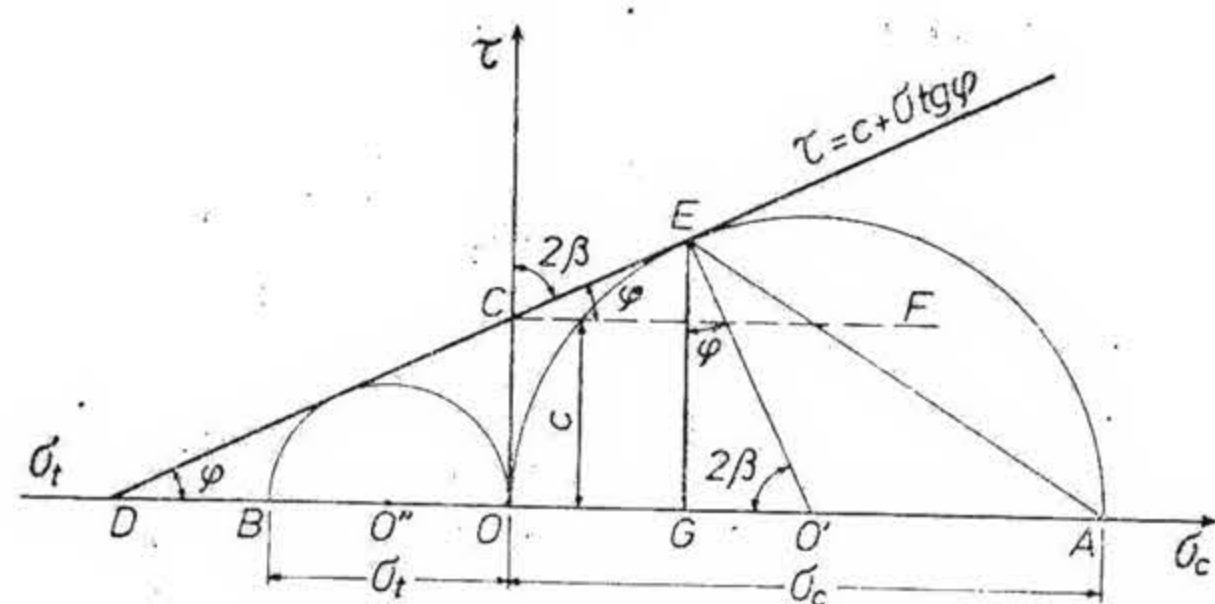


Fig. XVI.30. Metoda Mohr de determinare a coeziunii și unghiului de frecare interioară.

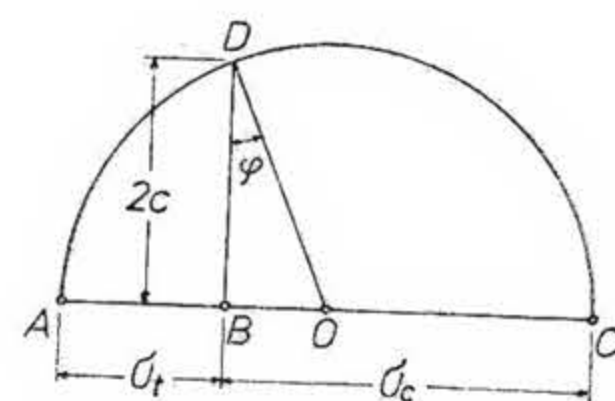


Fig. XVI.31. Metoda Winkel de determinare a coeziunii și unghiului de frecare interioară.

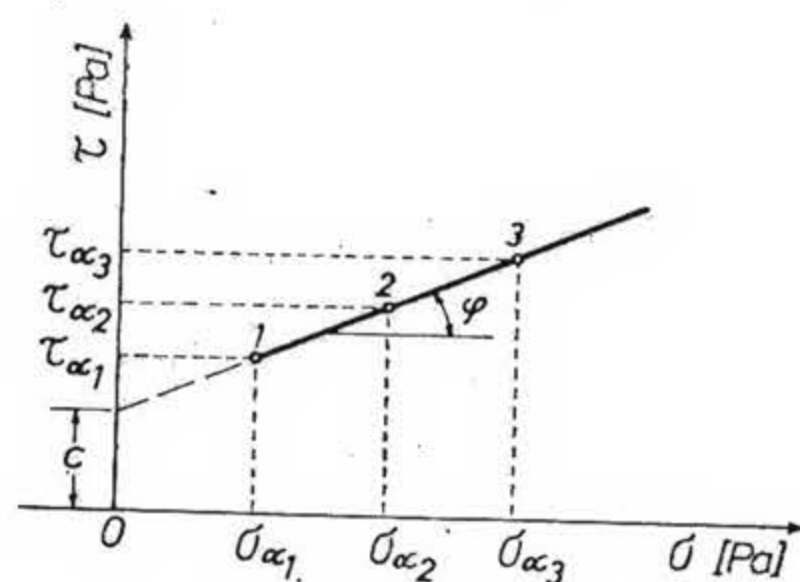


Fig. XVI.32. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin forfecare a rocilor stincoase.

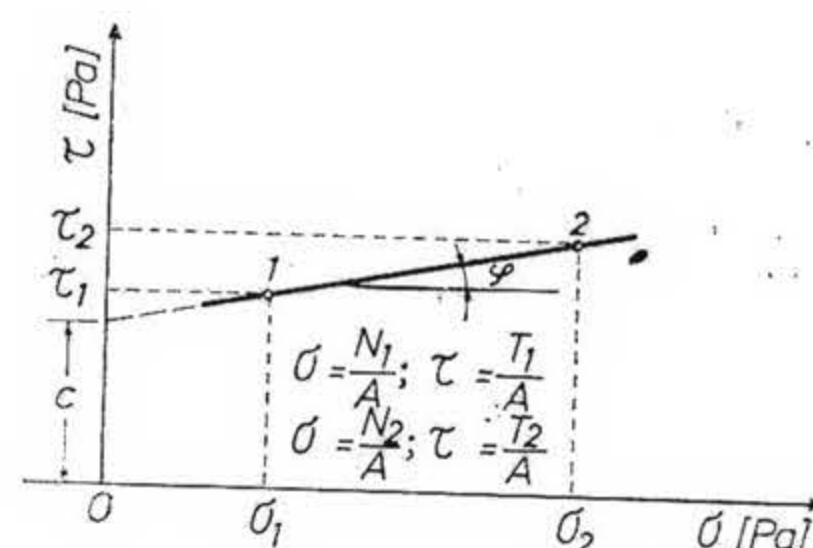


Fig. XVI.33. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin forfecare cu casete (roci moi).

Încercarea triaxială constituie și ea o metodologie de determinare a rezistenței rocii ce se finalizează prin determinarea coeziunii și a unghiului de frecare interioară, fie folosind criteriul de rupere *Mohr-Coulumb* (fig. XVI.34), fie utilizând înfășurătoarea tip cicloidă (fig. XVI.35), fie cea parabolică (fig. XVI.36).

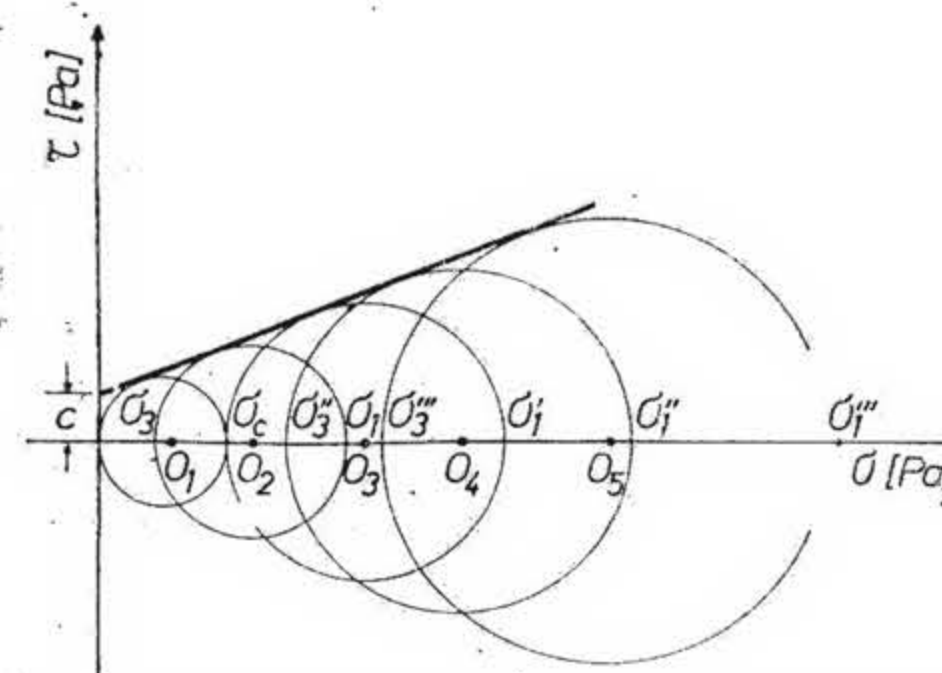


Fig. XVI.34. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin încercare triaxială utilizând criteriul Coulomb-Mohr.

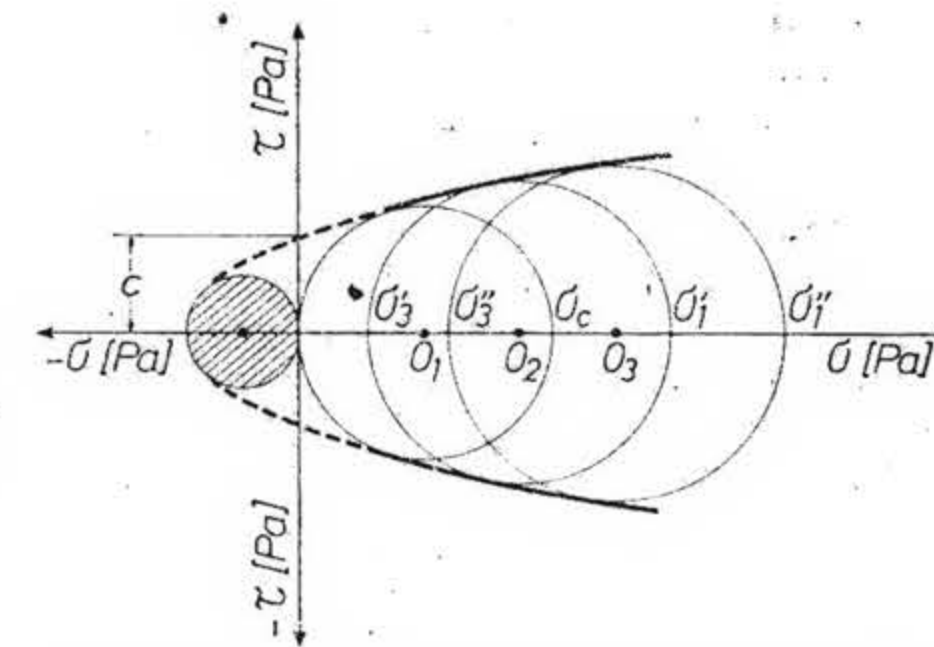


Fig. XVI.35. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară utilizând cicloida.

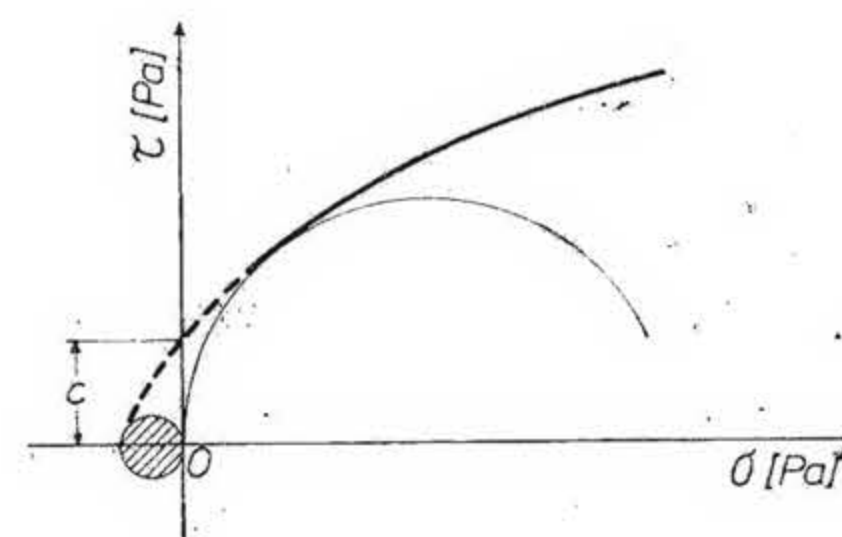


Fig. XVI.36. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară utilizând înfășurătoarea parabolică.

2.4. CARACTERISTICI ELASTICE

Indiferent de tipul rocii, fiecare, în cazul unei solicitări, prezintă un anumit comportament mai mult sau mai puțin elastic. Pentru un astfel de domeniu de solicitare $\sigma < \sigma_e$ (unde σ_e este limita comportamentului elastic), experiența confirmă posibilitatea aplicării legii fizice constitutive corespunzătoare mediilor ideal elastice — *legea lui Hooke*. Deci elasticitatea este o proprietate a rocilor în măsura în care acestea pot fi asimilate cu materialele ideale. Proprietățile ce caracterizează comportamentul elastic al rocilor sînt: curba caracteristică tensiune-deformare ($\sigma - \epsilon$); efortul la limita elastică; modulul de elasticitate E ; coeficientul (μ) sau constanta lui *Poisson* (m). Aceste caracteristici se pot determina atât prin solicitări statice cît și prin solicitări dinamice.

Curba tensiune-deformare constituie o evidențiere experimentală a comportamentului sub sarcină a rocilor, exprimată prin raportul ce există între tensiuni și deformări.

Prin aplicarea unui efort (forță pe unitatea de suprafață) asupra unei epruvete de rocă, aceasta se va deforma. Înainte de a analiza comportamentul la deformare a unui

material real (roca), se vorreda câteva considerente teoretice referitoare la deformarea unui material idealizat sau ipotetic. Comportamentul la deformare rezultă din analiza curbei tensiune-deformare $\sigma - \varepsilon$. Diagrama $\sigma - \varepsilon$ din fig. XVI.37 corespunde unui material perfect elastic, adică acel material care respectă *legea lui Hooke* $\sigma = E \cdot \varepsilon$, unde constanta de proporționalitate E este *modulul lui Young* sau *modulul de elasticitate*. Nici un material real nu este perfect elastic; cu toate acestea, rocile magmatice se apropie de un asemenea comportament.

Modelul mecanic pentru un astfel de comportament este un resort. Un material perfect plastic nu se va deforma dacă efortul ce îl solicită este mai mic decât σ_0 . El se va deforma în mod permanent dacă $\sigma = \sigma_0$ și nu va suporta un efort dacă $\sigma > \sigma_0$ (fig. XVI.38 a). Modelul mecanic pentru un material perfect plastic este patina (fig. XVI.38, b). Un material elasto-plastic este liniar-elastic până la o valoare a tensiunii $\sigma \leq \sigma_0$ și plastic pentru $\sigma = \sigma_0$ (fig. XVI.38, c). Modelul mecanic al unui astfel de comportament este un arc legat în serie cu o patină. Curba tensiune-deformare din fig. XVI.6 (cap. 1) reprezintă un material care este liniar-elastic până la valoarea tensiunii $\sigma = \sigma_e$ (punctul b). Peste acest nivel $\sigma_1 > \sigma_e$ materialul este neelastic, adică deformarea nu mai este proporțională cu efortul. Punctul b până la care deformările sînt proporționale cu eforturile, iar în momentul înlăturării efortului deformările se anulează sau aproape dispar se numește *punct elastic*, iar tensiunea corespunzătoare se numește *efort la limita elastică* (σ_e).

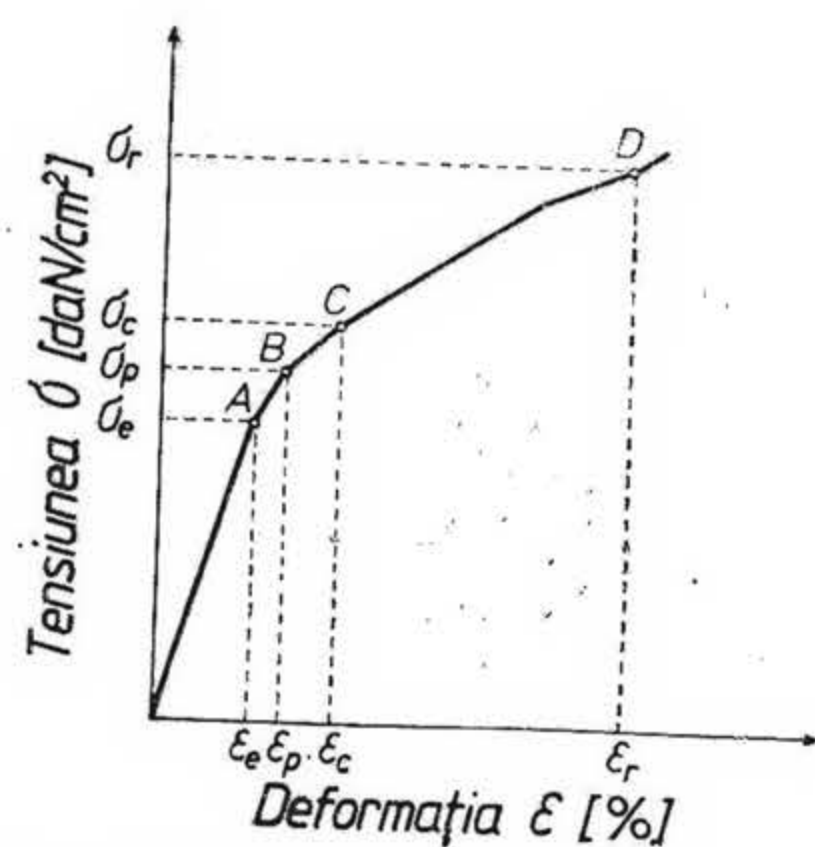


Fig. XVI.37. Curba caracteristică tensiune-deformare.

Experimental și cu totul convențional, astăzi se consideră ca limită elastică efortul unitar normal σ_e (N/m²) pentru care deformarea longitudinală remanentă a rocii nu depășește valoarea 0,03% (adică $\varepsilon_{lr} < 0,03\%$). În domeniul convențional, stabilit $0 < \varepsilon_{lr} < 0,03\%$ se consideră că rocile se comportă elastic. Dacă se înlătură o solicitare dată de un efort $\sigma_2 > \sigma_e$ (punctul c de pe curbă) și deformarea ε nu se anulează sau este apreciazabilă, atunci materialul se poate caracteriza printr-o deformare remanentă sau reziduală. Dacă solicitarea este reluată și curba tensiune-deformare este liniară (sau aproximativ

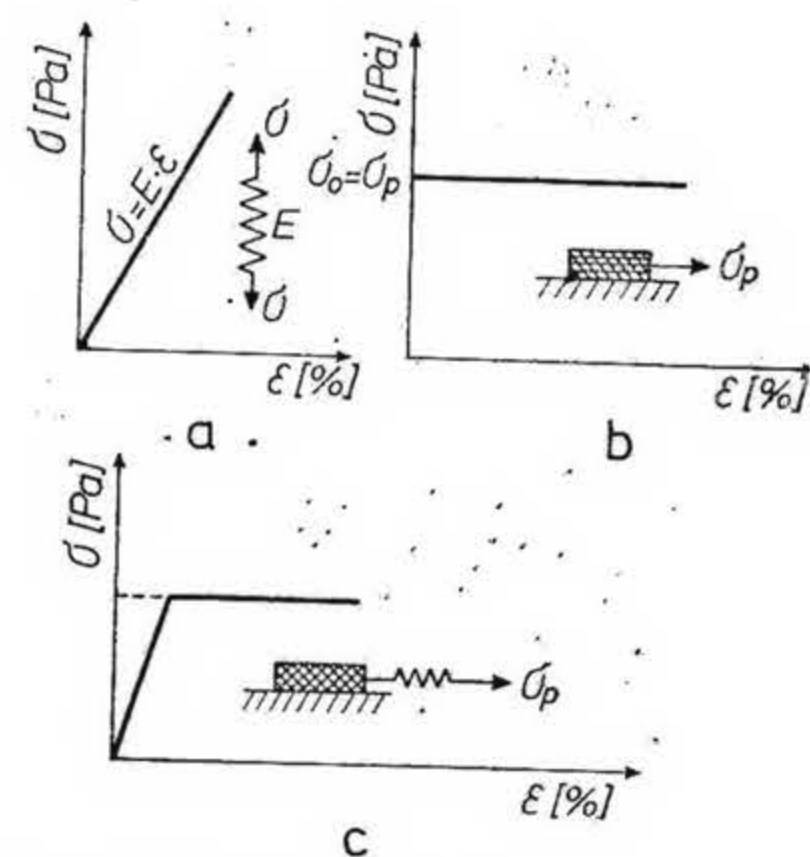


Fig. XVI.38. Comportament de deformare :

a — elastic; b — plastic; c — elasto-plastic.

lineară) din b_1 până în d, punct după care epruveta se va rupe imediat, atunci materialul poate fi încadrat în grupa celor cu comportament la deformare casant (v. fig. XVI.6). Dacă însă efortul de solicitare poate să crească peste σ_3 și materialul va continua să se deformeze neelastic până la rupere, atunci asemenea materiale pot fi caracterizate din punctul de vedere al deformării ca și ductile, (v. fig. XVI.6). În funcție de alura curbelor de tensiune-deformare roca poate fi caracterizată din punctul de vedere al comportamentului la deformare (fig. XVI.39).

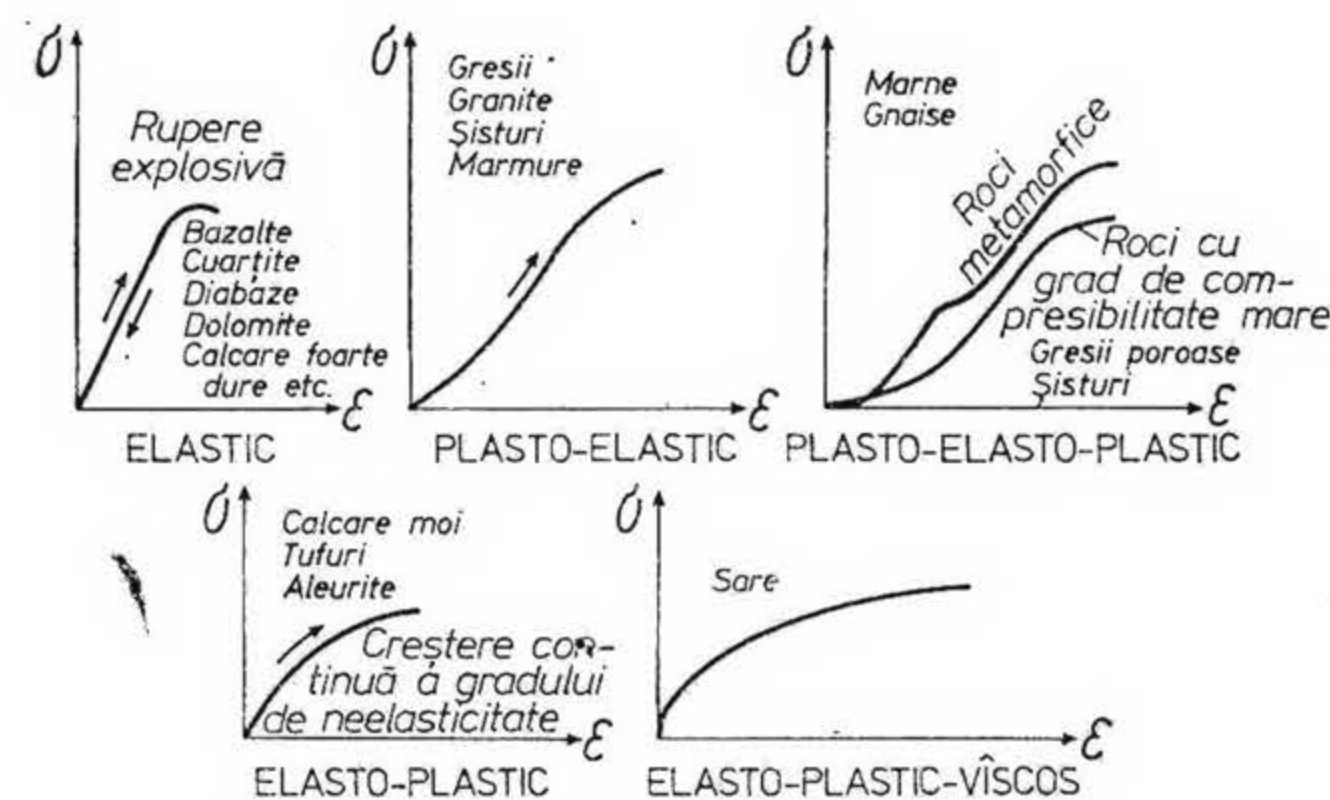


Fig. XVI.39. Tipuri de curbe caracteristice.

Modulul de elasticitate E ; coeficientul μ sau constanta m a lui Poisson la încercări statice. Modulul de elasticitate poate fi definit ca modul tangent sau ca modul secant (fig. XVI.40). Valoarea tangentei la curba caracteristică în punctul considerat pe porțiunea delimitată de efortul σ_e se numește *modul de elasticitate tangent* adică :

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{m}{n} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.14)$$

unde : raportul m/n reprezintă raportul scărilor utilizate la reprezentare. Modulul de elasticitate secant, E_s , este definit ca raportul dintre valoarea efortului până la limita elastică și deformarea corespunzătoare, adică :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.15)$$

(fig. XVI.40). Modulul de elasticitate se poate determina fie prin ridicarea curbei caracteristice, fie prin încărcări și descărcări succesive (fig. XVI.41). Ultima metodă o recomandăm deoarece oferă certitudine și posibilitatea de a determina atât efortul la limita elastică cât și coeficientul sau constanta lui Poisson. În cazul acestei metode E și μ (sau m) sînt calculate din măsurarea deformărilor longitudinale ε_l și a deformărilor transversale ε_{tr} , cu relațiile (2.14 și 2.15), iar modulul secant :

$$E_s = \frac{\sigma_n - \sigma_{n-1}}{\varepsilon_n - \varepsilon_{n-1}} \quad (2.16)$$

La determinare trebuie respectate următoarele: epruvetă de formă cilindrică cu diametrul minim de 42 mm; coeficientul de sveltețe $\lambda = 2,5$; confecționarea epruvetei în mod asemănător cu aceea prevăzută de încercarea la compresiune (v. tabelul XVI.19); viteza de solicitare de 0,1–1,0 MPa · s; încercarea unui număr minim de trei epruvete pentru un tip de rocă. Măsurarea deformațiilor se poate realiza pe cale mecanică, prin

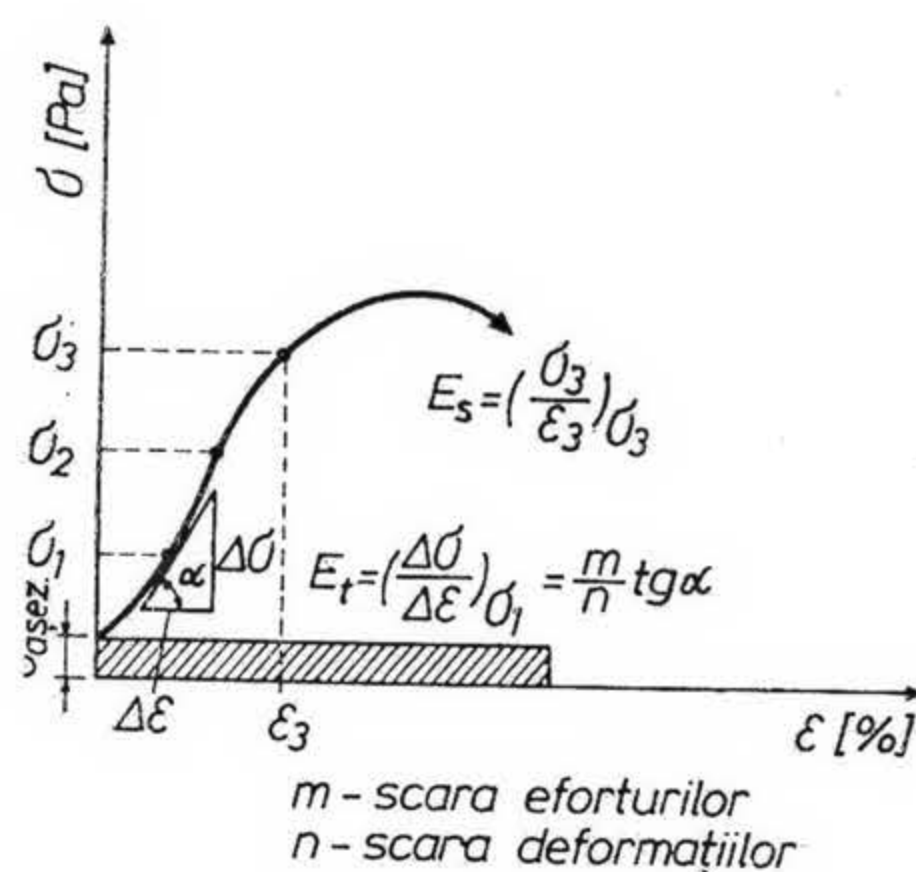


Fig. XVI.40. Definirea modului de elasticitate.

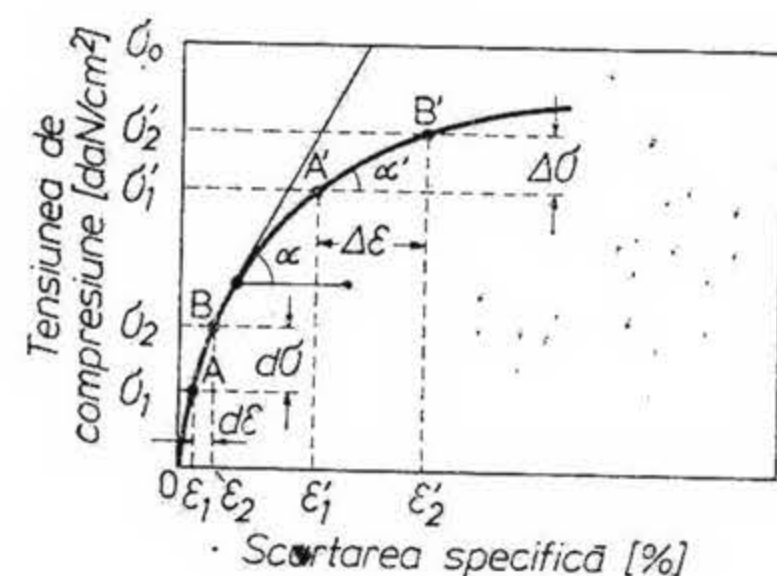


Fig. XVI.41. Determinarea modului de elasticitate.

utilizarea microcomparatoarelor pe cale tensometrică, prin utilizarea timbrelor tensometrice sau prin amplificare electronică cu preluarea datelor și transpunerea lor direct pe calculator, obținind în final valorile parametrilor elastici. Valoric, modulul de elasticitate al rocilor variază între limitele $(0,5 - 12) \cdot 10^2$ MPa până la $(0,1 - 0,5) \cdot 10^5$ MPa. Valorile cele mai scăzute ale modului de elasticitate îl au rocile argiloase sau cu compoziții argiloși, cărbunii, tufurile poroase, sarea, andezitele puternic alterate etc., iar valorile cele mai ridicate le au rocile de tipul bazaltelor, granitelor, cuarțitelor etc. Domeniul de variație a lui μ sau m este: $0 < \mu \leq 0,5$ sau $2 < m \leq \infty$. În realitate, pentru domeniul elastic coeficientul lui Poisson are valoarea sub 0,2–0,25.

Constantele elastice la solicitări dinamice. Atât în contextul dezvoltării fizicii și al electronicii cât și în baza faptului că rocile se caracterizează prin proprietăți acustice, în ultimul timp s-au creat și dezvoltat metode de determinare a caracteristicilor elastice bazate pe viteza de propagare a undelor elastice. Procedeele utilizate sînt redată în tabelul XVI.21. Toate aceste procedee determină constantele elastice în mod indirect, prin măsurarea vitezelor longitudinale și transversale de propagare a undelor elastice. Cantitativ rezultă că:

$$E_{din} = \gamma_a(p; n) \cdot f(\mu_a) \frac{V_l}{g} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.17)$$

Tabelul XVI.21

Metode nedistructive de determinare a caracteristicilor mecanice-elastice

Grupa de metode	Metoda	Procedeele	Utilizare
Acustice	Vibrării	vibrării longitudinale vibrării transversale vibrării prin torsiune	Determinarea caracteristicilor elastice
	Impulsului	undelor longitudinale undelor transversale undelor acustice complexe	Determinarea rezistențelor mecanice, a caracteristicilor elastice E_d ; μ_d sau m_d

unde: $\gamma_a(p; n)$ — greutatea specifică aparentă a rocii ca funcție de compoziția mineralogică (p) și de porozitatea (n); $f(\mu_a)$ — o funcție ce depinde de coeficientul dinamic al lui Poisson (μ_a):

$$f(\mu_a) = \frac{(1 + \mu_a)(1 - 2\mu_a)}{(1 - \mu_a)} \quad (2.18)$$

unde:

$$\mu_a = \frac{1 - 2n^2}{2(1 - n)}; \quad n = \frac{V_t}{V_l} \quad (2.19)$$

și deci:

$$E_d = \frac{(1 + \mu_a)(1 - 2\mu_a)}{(1 - \mu_a)} \gamma_a V_l^2 \quad (2.20)$$

sau:

$$E_d = 2(1 + \mu_a) \gamma_a V_l^2 \quad (2.21)$$

Experimental se determină pe epruvete prismatice sau cilindrice, utilizînd modulmetrele cu ajutorul cărora se măsoară timpul necesar (t) pentru ca unda să parcurgă lungimea epruvetei (l). Viteza de propagare poate fi determinată din relația:

$$V_l = \frac{l}{t} \quad [\text{m/s}] \quad (2.22)$$

și modulul de elasticitate prin relația:

$$E_d = V_l^2 \frac{\gamma_a}{g} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.23)$$

Pentru realizarea încercărilor trebuie respectate următoarele condiții :

- lungimea epruvetei să fie $l = 25$ cm și mai mare de cel puțin 2 ori diametrul ei ;
- diametrul epruvetei să fie $d = 2,5$ cm ;
- confectionarea și rectificarea epruvetelor să se realizeze ca și în cazul compresiunii (tabelul II.17) ;
- impulsul trebuie să aibă o lungime de undă mai mică decât (1–5) ori dimensiunea laterală a epruvetei ;
- pentru o rocă este necesară una sau mai multe încercări.

Aparatura de solicitare poate fi monoaxială sau triaxială. Constantele elastice se pot determina și *in situ*, prin încercări seismice. Impulsurile seismice sînt create în masiv prin impact mecanic sau prin intermediul explozivilor.

2.5. CARACTERISTICI REOLOGICE

Reologia studiază deformarea materialelor și implicit a rocilor sub efectul eforturilor ce le sînt aplicate, ținînd cont de variația acesteia în timp. Importanța hotărîtoare a cercetărilor mecanicii rocilor în domeniul tehnico-minier se realizează pe deplin numai prin abordarea reologică a masivului de rocă. Astăzi în reologie se disting două direcții mari de cercetare : (1) reologia liniară ; (2) reologia neliniară. Indiferent de direcția de cercetare, reologic, o rocă poate fi studiată fie sub aspectul fenomenului de fluaj :

$$f(\sigma_0, t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} \quad (2.24)$$

adică deformare continuă sub sarcină constantă, sau de relaxare :

$$r(\varepsilon_0, t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} \quad (2.25)$$

adică scăderea continuă a eforturilor pentru o deformare constantă. Fenomenele de fluaj sau relaxare se pot reprezenta prin funcții simetrice și, ca urmare, cunoașterea parametrilor de fluaj creează posibilitatea caracterizării rocii și ca relaxare, deci reologic. Pe baza diferitelor date experimentale s-a reușit redarea unei curbe teoretice de fluaj sau deformare în timp (fig. XVI.42) și care analitic corespunde expresiei generale de forma :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1(t) + \dot{\varepsilon} \cdot t + \varepsilon_3(t) \quad (2.26)$$

unde : ε_0 este deformarea elastică instantanee ;

$\varepsilon_1(t)$ — fluajul primar sau tranzitoriu (domeniu I de deformare) ;

$\dot{\varepsilon} \cdot t$ — fluajul permanent, secundar sau stabil (domeniul II de deformare) ;

$\varepsilon_3(t)$ — fluajul terțiar sau accelerat (domeniul III de deformare).

Pentru a facilita studiul comportamentului de deformare în timp, s-a recurs la utilizarea unor scheme în comportare simple ușor exprimate în limbaj matematic (modelare analogică), denumite *modele mecanice simple* (tabelul XVI.22). Comporta-

mentul reologic liniar al rocilor poate fi redat prin considerarea diferitelor combinații (tip serie, paralel sau mixt) ale modelelor simple.

Rezolvarea unor probleme ca cele legate de stabilitatea lucrărilor miniere la zi și n subteran precum și a regimului de presiune minieră în contextul interacțiunii cu susți-

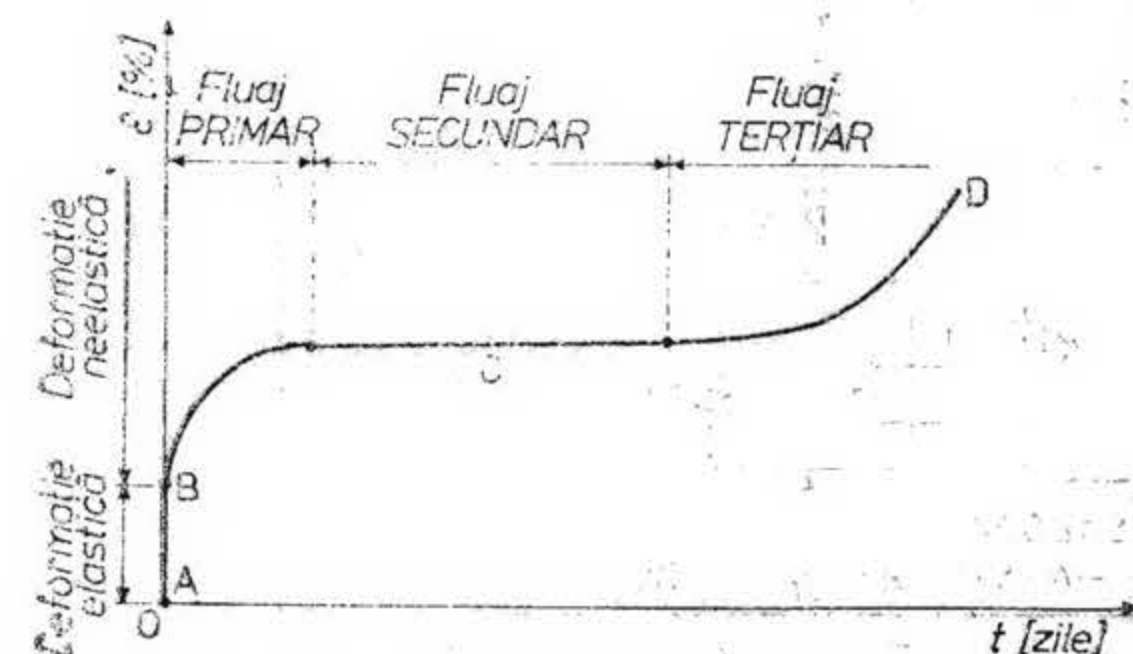


Fig. XVI.42. Curba teoretică de fluaj.

Tabelul XVI.22. Modele mecanice simple utilizate în reologia rocilor

CORPUL	MODELUL REOLOGIC	ECUAȚIA MODELULUI
ELASTOVISCOS (Maxwell) $M = H - N$		$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} [1 + \frac{E_1}{\eta_1} t]$
RIGID-VISCOS (Kelvin) $K = H/N$		$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_2} [1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t}]$
VISCO-ELASTIC (Burgers) $Bu = M - K$		$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} [1 + \frac{E_1}{\eta_1} t] + \frac{\sigma}{E_2} [1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t}]$

nerea reclamă necesitatea utilizării modelelor neliniare (fig. XVI.43). Asemenea modele prezintă dificultăți mari în calculul lor și care se reduc în cazul utilizării calculatoarelor și a metodelor numerice de integrare.

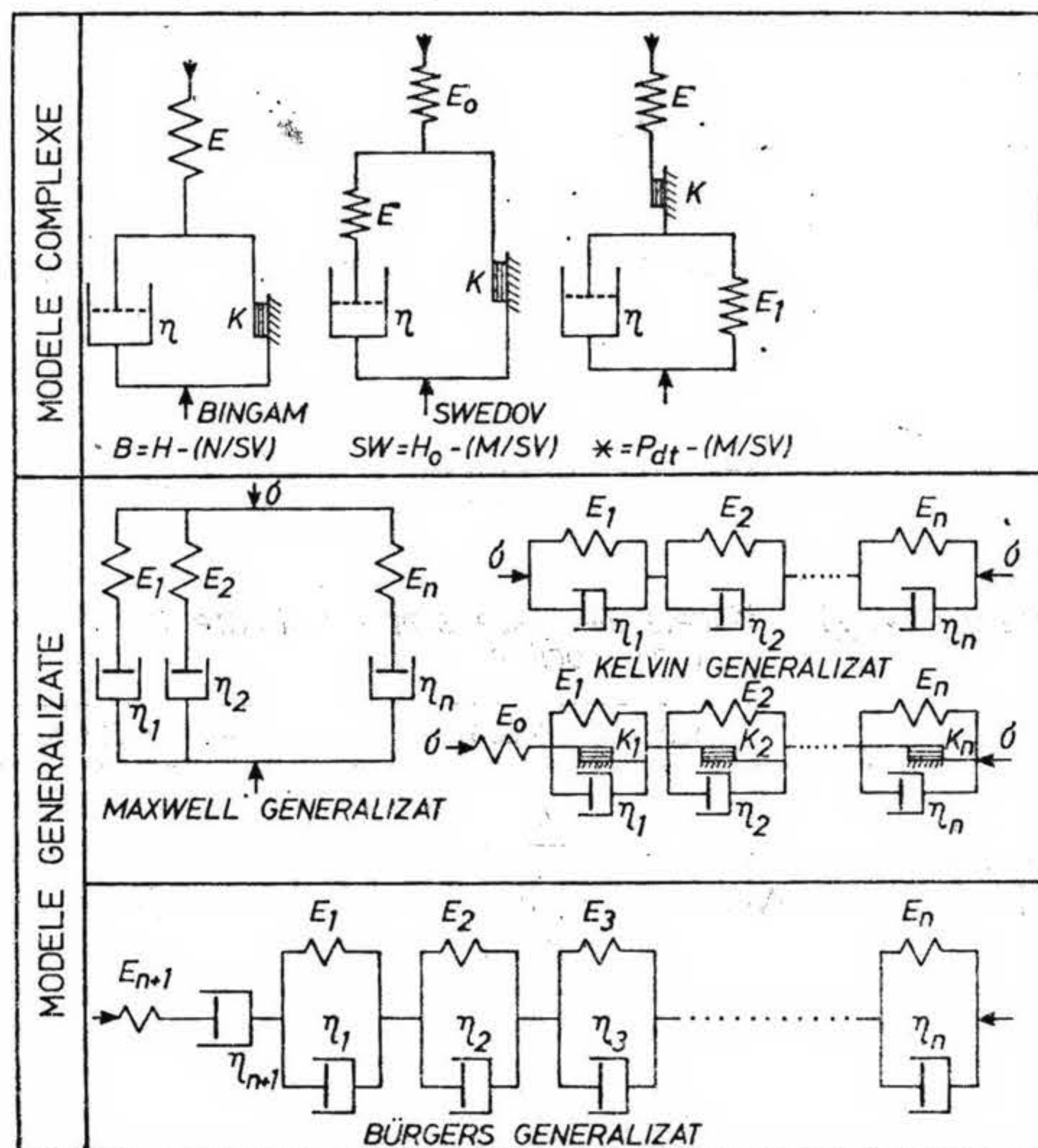


Fig. XVI.43. Modele neliniare reologice.

Caracterizarea reologică a unei roci sau substanțe minerale utile se realizează prin determinarea curbei caracteristice de fluaj și relaxare, iar funcție de comportament se stabilesc parametrii reologici corespunzători: modulul de elasticitate reologic; coeficientul de vîscozitate; parametrii plastici de comportare; timpul de întîrziere T_{int} ; timpul de relaxare T_{rel} gradul de solicitare $\Delta = \frac{\sigma_0}{\sigma_r}$; viteza de deformare $\dot{\epsilon}$; corelația dintre

viteza de deformare și gradul de solicitare (fig. XVI.44) etc.

Studierea comportamentului reologic al rocilor se poate realiza pe cale de laborator și *in situ*. În laborator solicitarea în timp se realizează cu ajutorul instalațiilor de tip hidraulic, (fig. XVI.45) sau mecanic (fig. XVI.46), folosind epruvete de rocă pregătite în conformitate cu solicitarea realizată: compresiune, tracțiune sau forfecare (tabelul XVI.18).

Fig. XVI.44. Corelația dintre viteza de deformare și gradul de solicitare.

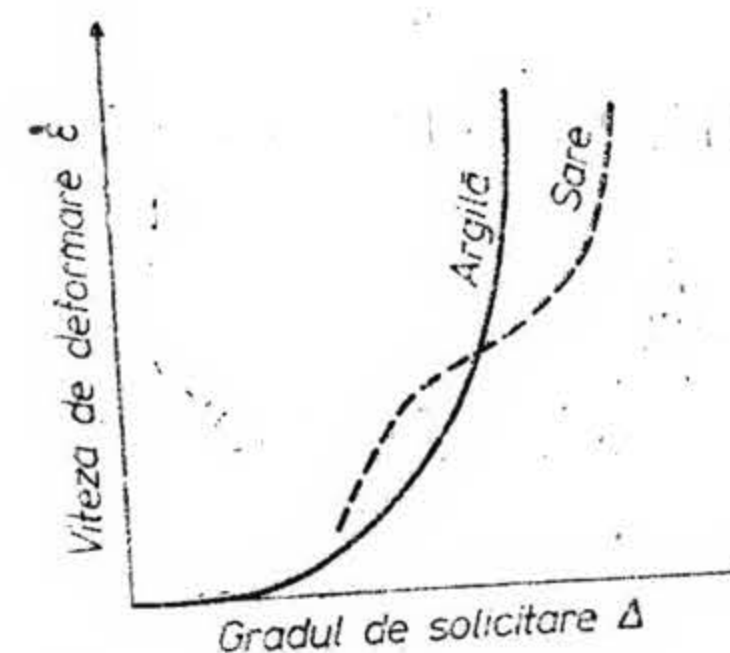


Fig. XVI.45. Instalație hidraulică pentru încercări reologice.

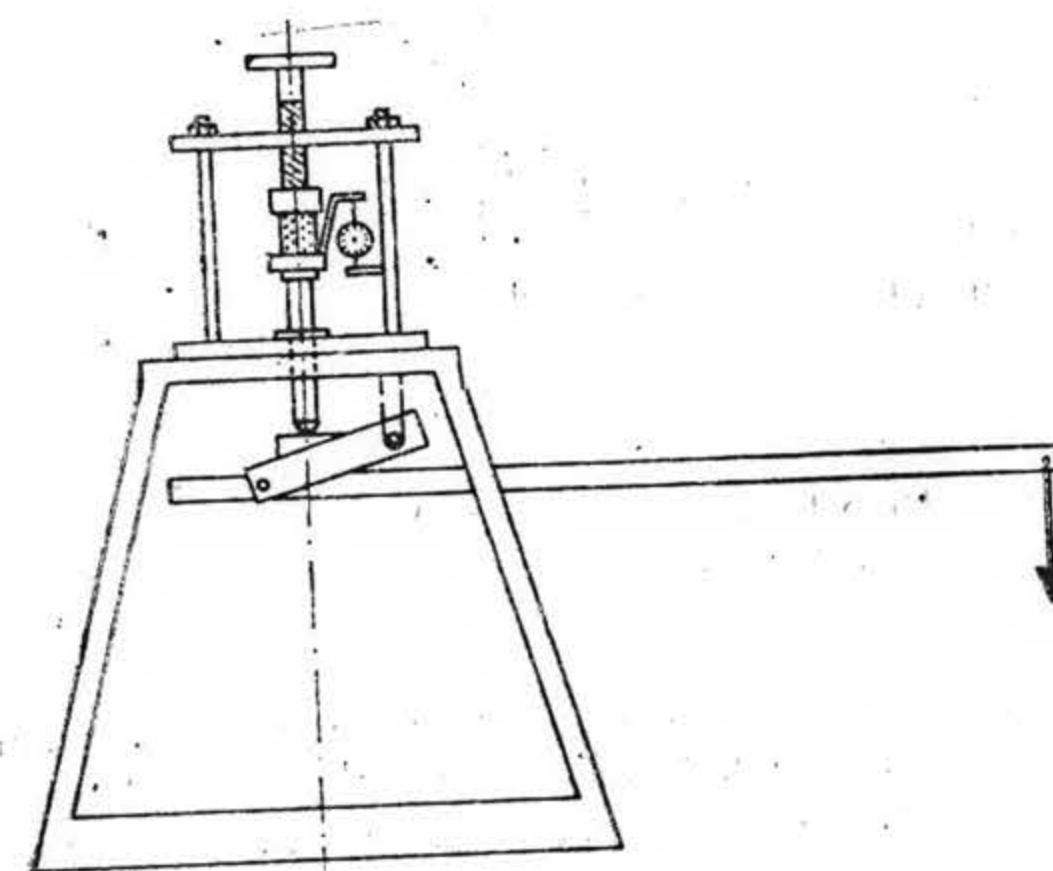
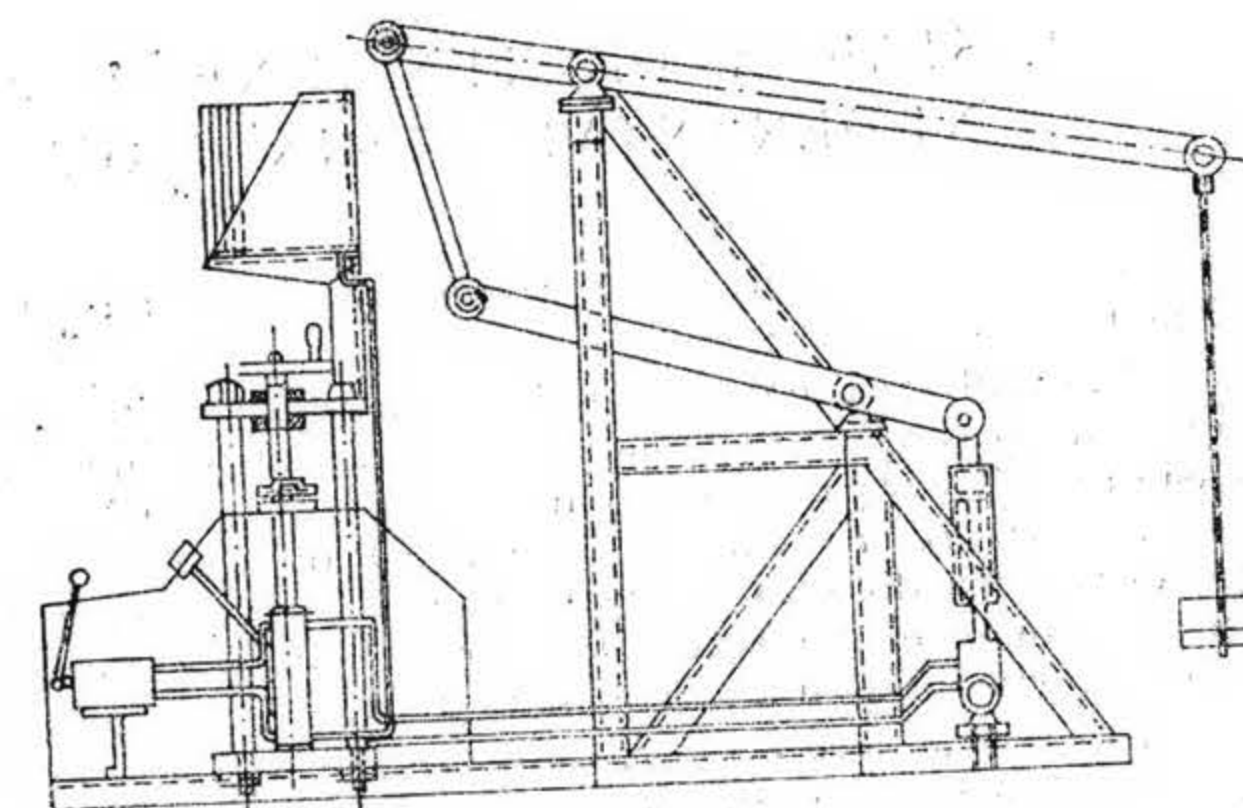


Fig. XVI.46. Instalație mecanică pentru încercări reologice.

3. STABILITATEA EXCAVAȚIILOR SUBTERANE

Prin noțiunea de stabilitate se înțelege o asemenea stare a sistemului care menține un echilibru stabil al acestuia, cu păstrarea secțiunii de lucru pe durata de existență proiectată. Evaluarea stabilității se efectuează pe baza calculului stării de tensiune a rocilor înainte și după executarea excavației subterane, prin stabilirea mărimii presiunii care acționează asupra excavației subterane.

3.1. STAREA DE TENSIUNE A MASIVULUI DE ROCI NEDERANJATE PRIN EXCAVAȚII

Masele de roci din scoarța terestră sunt supuse forțelor gravitaționale, forțelor endogene și forțelor exogene.

În cazul unui masiv, făcând abstracție de forțele endogene și cele exogene, forța exterioară care acționează asupra unei particule elementare este chiar greutatea proprie a masivului aferent particulei elementare și care creează asupra acesteia o stare de tensiune denumită *presiune litostatică*. Această presiune se datorează forței gravitaționale care acționează după direcția verticalei locului și spre centrul Pământului. Datorită acestei forțe, o particulă elementară aflată la o adâncime (H) în scoarța terestră va fi supusă unor tensiuni verticale și unor tensiuni laterale

În ceea ce privește tensiunile verticale (fig. XVI.47) este acceptată ipoteza că indiferent de mediul la care ne referim, acestea sunt proporționale cu adâncimea la care se studiază. Adică :

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = p \quad (3.1)$$

Mărimea tensiunilor laterale depinde de starea fizică în care se găsește masivul studiat, existind mai multe ipoteze.

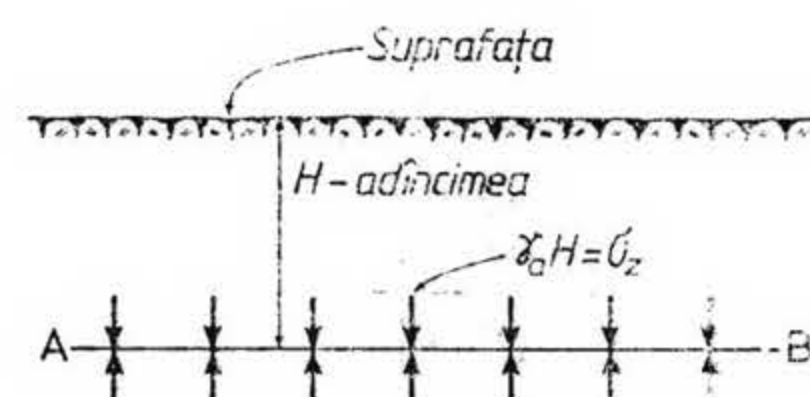


Fig. XVI.47. Ilustrarea tensiunilor verticale.

3.1.1. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT ELASTIC

P. K ü h n consideră că într-un mediu elastic omogen și izotrop, pentru o particulă elementară, un cub cu latura unitară, care se găsește la adâncimea H (fig. XVI.48) va fi supus la compresiune de către greutatea stîlpului de rocă pe această adâncime, avînd secțiunea transversală unitară.

Punînd condiția la limită, se ajunge la expresia :

$$\frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\mu \sigma_z}{E} = 0$$

de aici :

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot \sigma_z = \xi \sigma_z \quad (3.2)$$

Dacă direcțiile axelor z , y și x coincid cu direcțiile axelor principale, tensiunile σ_z , σ_y și σ_x vor deveni tensiuni principale, iar relația (3.2) devine :

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot \sigma_1 = \xi \sigma_1 \quad (3.3)$$

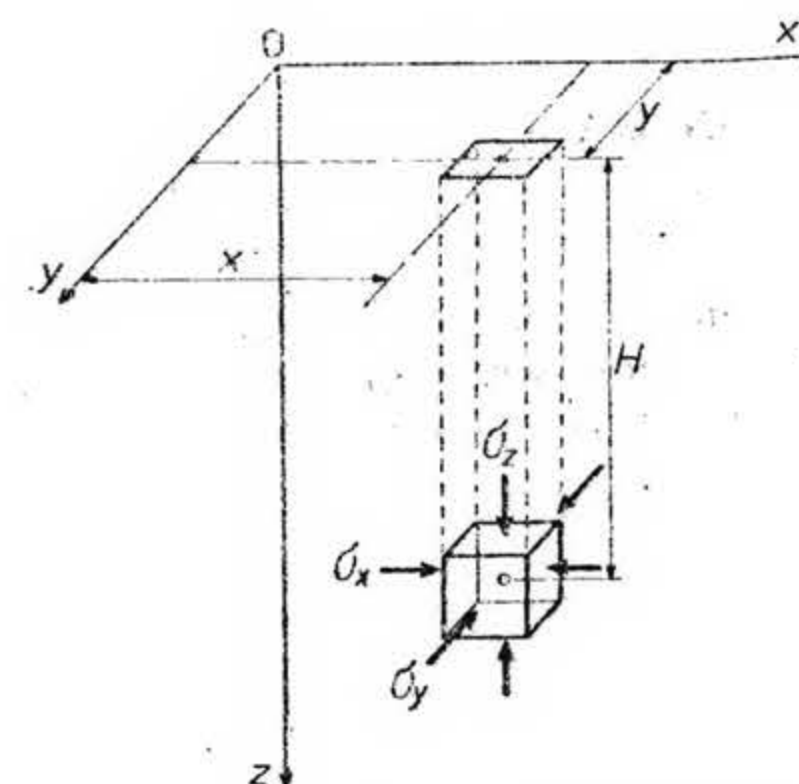


Fig. XVI.48. Starea de tensiune asupra unei particule elementare în ipoteza lui P. Kühn.

Tabelul XVI.23

Variația tensiunilor laterale în funcție de valoarea lui μ

μ	$\sigma_x = \sigma_y$
0	$\sigma_x = 0$
0,1	$\sigma_x = 0,11 \sigma_z$
0,2	$\sigma_x = 0,28 \sigma_z$
0,3	$\sigma_x = 0,43 \sigma_z$
0,4	$\sigma_x = 0,66 \sigma_z$
0,5	$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$

Pentru cazul tensiunilor tangențiale maxime, P. Kühn stabilește relația :

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_z}{2} \cdot \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \quad (3.4)$$

După modul de comportare al rocilor — în funcție de valoarea lui μ , tensiunile laterale variază conform tabelului XVI.23.

Din aceste relații rezultă că presiune litostatică diferă ca mărime de presiunea hidrostatică. Numai în cazul stării lichide a rocilor, atunci când avem de-a face cu roci curgătoare, presiunea litostatică are aceeași mărime ca presiunea hidrostatică. În acest caz $\mu = 0,5$ și deci: $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma_a H$.

R. Fennner exprimă starea de tensiune pentru un mediu elastic omogen și izotrop în coordonate polare, ajungând la expresiile:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{p}{2(m-1)} [m + (m-2) \cos 2\theta]; \\ \sigma_\theta &= \frac{p}{2(m-1)} [m - (m-2) \cos 2\theta]; \\ \tau_{r\theta} &= -\frac{p(m-2)}{2(m-1)} \cdot \sin 2\theta\end{aligned}\quad (3.5)$$

Problema tratată aici va fi dezvoltată în cele ce urmează.

3.1.2. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT CLASTIC

Pentru cazul unei roci lipsite de coeziune, sau pentru o rocă care în fază inițială are un comportament elastic dar datorită valorii tensiunilor care depășesc rezistența acesteia la forfecare se va sfărâma, echilibrul între tensiuni se stabilește plecând de la relația:

$$\sigma_1 = Q + j \cdot \sigma_3$$

Considerînd coeziunea nulă, se ajunge la:

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sigma_1 \quad (3.6)$$

Dacă starea de tensiune este exprimată prin tensiuni oarecare, atunci:

$$\sigma_x - \sigma_y = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sigma_z \quad (3.7)$$

Un exemplu de rocă în stare perfect clastică este nisipul curat și uscat.

În funcție de forma și dimensiunile particulelor de nisip, unghiul de frecare interioră a acestuia variază de la 30–45°, iar tensiunile laterale au valorile conform tabelului XVI.24.

Tabelul XVI.24
Valoarea tensiunilor laterale în funcție de φ

φ°	$\sigma_x = \sigma_y$
30	$\sigma_x = \sigma_y = 0,33 \sigma_z$
35	$\sigma_x = \sigma_y = 0,27 \sigma_z$
40	$\sigma_x = \sigma_y = 0,22 \sigma_z$
45	$\sigma_x = \sigma_y = 0,17 \sigma_z$

Substanțele casante, fărîmîțate, cum ar fi rocile fărîmîțate datorită unor presiuni excesive, pot fi considerate ca roci clastice, cu condiția să nu mai posedă coeziune.

3.1.3. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT PLASTIC

Rocile sau substanțele minerale utile, care după forfecare mai posedă o oarecare coeziune, se găsesc în stare plastică. Coeziunea existentă în rocă reduce valoarea tensiunilor laterale create de tensiunea verticală și, în acest caz, relația între tensiuni are forma:

$$\sigma_x = \sigma_y = i \sigma_z - 2ic \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (3.8)$$

Substanțele sau rocile tipice care se află în stare plastică sînt argila și nisipul care conține o cantitate apreciabilă de argilă sau nămol.

Pentru starea plastică se amintește și ipoteza lui Timbărevici, care se bazează pe observațiile lui Kühn și pe condiția de plasticitate, care determină limita de curgere din expresia deja cunoscută:

$$\sigma_z - \sigma_x = K_f$$

și

$$\sigma_x = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma_a \cdot H$$

de unde:

$$H = \frac{K_f}{\gamma_a} \cdot \frac{1 - \mu}{1 - 2\mu} \quad (3.9)$$

Această relație, dedusă de Timbărevici, stabilește adîncimea, H , de la care, în jos, rocile trec din stare elastică în stare plastică.

Cunoașterea adîncimii limită a zonei elastice are o importanță deosebită deoarece, trecînd în domeniul deformațiilor plastice, se ridică o serie de probleme legate de creșterea presiunii și susținerea lucrărilor miniere cu susțineri adecvate. Pentru condițiile Văii Jiului adîncimile limite ale zonei elastice pentru diferite roci și după diverși autori sînt redată în tabelul XVI.25.

Adâncimea limită a zonei elastice pentru câteva roci din Valea Jiului

Tabelul XVI.25

Autorul	Formula autorului	Adâncimea limită a zonei elastice [m]		Adâncimea limită a zonei elastice [m]		
		Valoare rezultată din calcul	Valoare medie	Argile	Marne și gresii slabe	Gresii dure
		$\xi = 0,227$	$\xi = 0,75$	$\sigma_e = 180$	$\sigma_e = 450$	$\sigma_e = 650$
P.M. Timbăre-vici	$h_e = \frac{\sigma_c}{2\xi\gamma_a}$	2160	655	490	1170	1650
V. D. Slesarev	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400
H. Labasse	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400
F. A. Belaenkov	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a(1-\xi)}$	260	510	340	450	680
K. V. Ruppenait	$h_e = \frac{\sigma_c}{2\xi\gamma_a}$	2160	655	490	1170	1650
I. Bealer	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a M}$	2160	655	490	1170	1650
R. Cvapil	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a \cdot M_1}$	785	—	240	1400	2400
E. T. Proevkin	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400
A. P. Maksimov	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400

σ_c este rezistența la compresiune; σ_e — limita elastică; $\xi = \frac{\mu}{1-\mu}$ — coeficientul împingerii laterale; M — coeficient ce depinde de mărimile constante care caracterizează roca (pentru roci stabile de tărie medie $M = 1,3-2$); M_1 — coeficient care depinde de proprietățile rocii: pentru roci care au $f = 2$, $M_1 = 3$; pentru roci care au $f = 2$, $M = 1,25$; γ_a — greutatea specifică aparentă.

3.1.4. STAREA DE TENSIUNE ÎNTR-UN MASIV CU COMPORTAMENT NEELASTIC

Dacă se consideră masivul de rocă ca avînd un comportament viscoelastic, elasto-viscos sau elasto-visco-plastic, în relațiile care definesc starea de tensiune va interveni un nou parametru — *timpul*. În cazul cel mai general componenta verticală rămîne neschimbată, adică $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$. În ce privește componenta orizontală, aceasta se modifică în funcție de comportamentul masivului. Astfel, în cazul unui masiv omogen, neelastic de tip *Kelwin*, componenta orizontală se modifică prin modificarea coeficientului împingerii laterale ξ în ξ_k astfel:

$$\xi_k = \frac{\mu}{1-\mu} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \text{ unde } \tau = \frac{\eta_k}{E_k}$$

Astfel, starea de tensiune va avea forma:

$$\sigma_x = \sigma_y = \xi_k \cdot \sigma_z = \frac{\mu}{1-\mu} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \cdot \sigma_z$$

Cînd $t = 0$, $\xi_k = 0$ și $\sigma_x = \sigma_y = 0$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Cînd $t = \infty$, $\xi_k = \xi = \frac{\mu}{1-\mu}$ și $\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_z$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Deci, în cazul unui masiv cu un comportament neelastic de tip *Kelwin*, tensiunile orizontale se modifică crescînd, odată cu timpul ($t = 0$ și $t = \infty$), de la un masiv cu comportament perfect elastic, la un masiv a cărui elasticitate depinde de valoarea coeficientului lui *Poisson*.

În cazul unui masiv cu un comportament de tip *Maxwell*, se modifică, de asemenea componenta orizontală ξ în ξ_M astfel:

$$\xi_M = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{ în care } \tau = \frac{\eta_M}{E_M} \text{ și deci:}$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \xi_M \cdot \sigma_z = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \sigma_z \text{ și } \sigma_z = \gamma_a \cdot H$$

Cînd $t = 0$, $\sigma_x = \sigma_y = 0$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Cînd $t = \infty$; $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Și în acest caz se constată că tensiunile orizontale se modifică în timp de la un comportament perfect elastic, la un comportament plastic spre curgător.

3.1.5. STAREA DE TENSIUNE DE ORIGINE TECTONICĂ

Existența stării de tensiune de natură tectonică sau reziduală este semnalată de unele anomalii care se produc în excavațiile subterane prin deformări foarte mari care modifică mult componentele laterale. Această modificare importantă a componentelor laterale se poate datora fie eforturilor laterale de compresiune create de acțiunea fenomenelor tectonice, fie că ea este rezultatul unei stări reziduale sau ereditare de tensiuni din

timpul când masivul nu a suferit anume fenomene de eroziune. Aceste fenomene singulare sau cumulate pot crea o stare de tensiune care depășește valoarea tensiunilor gravitaționale.

S-a văzut anterior că :

$$\xi = \frac{\mu}{1-\mu} \text{ unde: } \mu = 0 - 0,5 \text{ și deci } \xi = 0 - 1$$

Rezultă de aici că dacă se ia în considerare numai starea de tensiune de origine gravitațională, tensiunile laterale nu pot depăși ca valoare tensiunile verticale. Însă, așa cum s-a arătat, în unele puncte ale scoarței terestre au fost măsurate tensiuni de valori $\sigma_x = (0,6-8) \sigma_z$.

Din punct de vedere teoretic, elucidarea acestor fenomene are încă semne de întrebare.

Admițând totuși că starea de tensiune de origine gravitațională creează tensiunile $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$, iar starea de tensiune de natură tectonică sau reziduală creează o stare de tensiuni σ'_x, σ'_y și σ'_z atunci, starea naturală totală de tensiuni va fi :

$$\sigma_x = \sigma'_x + \sigma''_x; \sigma_y = \sigma'_y + \sigma''_y \text{ și } \sigma_z = \sigma'_z + \sigma''_z$$

Datorită cunoașterii insuficiente a fenomenelor tratate mai sus, în practica curentă a stabilirii stării de tensiune, majoritatea cercetătorilor iau în considerare numai tensiunile de natură tectonică.

3.2. REPARTIZAREA TENSIUNILOR ÎN ROCILE DIN JURUL EXCAVAȚIILOR SUBTERANE

Dacă în interiorul unui masiv oarecare, care are o stare de tensiune bine definită, vom executa o excavație de orice natură, starea de tensiune inițială se modifică creându-se o redistribuire a tensiunilor.

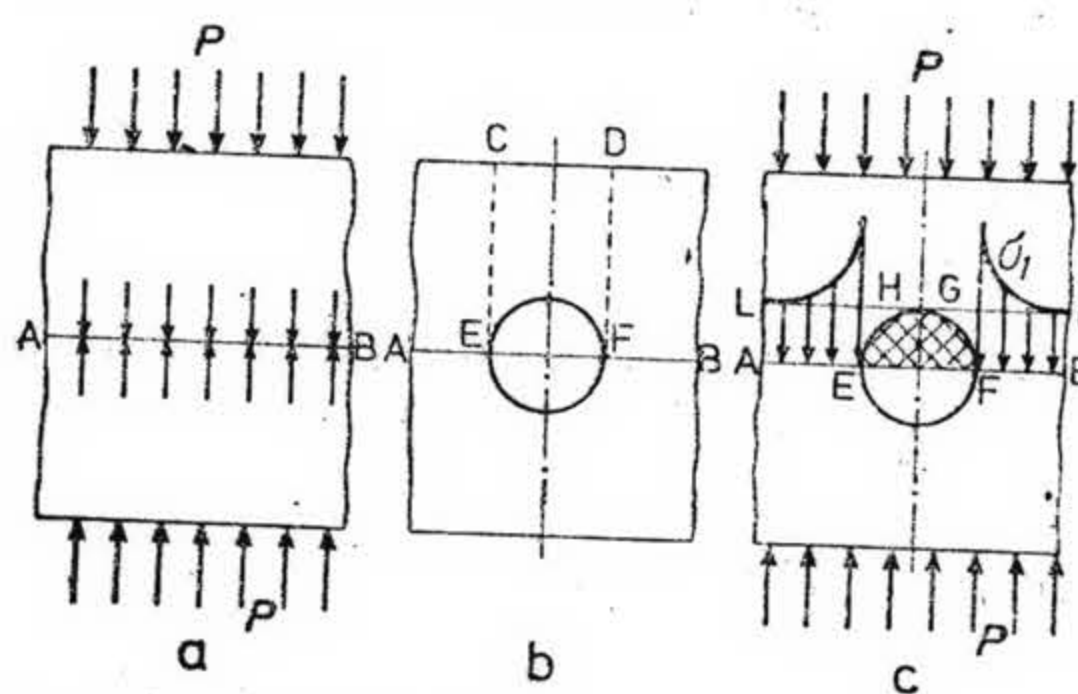


Fig. XVI.49. Concentrarea de tensiuni pe periferia unui orificiu circular :

a — placă intactă; b — placă în care a fost executat un orificiu circular; c — modul de concentrare a tensiunilor în jurul orificiului.

Pentru a explica modul de redistribuire a tensiunilor, se consideră o placă (fig. XVI.49) solicitată cu o forță oarecare P .

Dacă în placă nu se execută nici un orificiu, atunci în orice plan normal față de P (planul AB) mărimea solicitării este aceeași (fig. XVI.49, a).

Dacă însă se execută un orificiu în această placă, sarcina dată de blocul $CDEF$ nu poate fi transmisă prin orificiu și, în acest caz, ea va fi redistribuită în jurul orificiului, creându-se concentrări de tensiuni, care ating valoarea maximă la capetele

diametrului orizontal, valoare care descrește pe măsură ce ne îndepărtăm de orificiu (fig. XVI.49, c). Fenomenul fiind similar și pentru excavațiile subterane, concentrarea de tensiuni poate să provoace fisuri și căderi de blocuri în lucrarea minieră.

Studiul tensiunilor în excavațiile miniere se realizează prin mai multe procedee, și anume :

- studii și cercetări teoretice;
- studii prin metoda materialelor echivalente;
- studii prin fotoelasticimetrie;
- studii prin metode combinate.

3.2.1. STUDII ȘI CERCETĂRI TEORETICE CLASICE REFERITOARE LA REPARTIZAREA TENSIUNILOR

3.2.1.1. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii elastice omogene și izotrope

Unele roci, respectiv substanțe minerale utile, care se găsesc la anumite adâncimi în scoarța terestră pot fi considerate ca având un comportament elastic. Făcând această presupunere, rezultatele obținute pot fi generalizate prin teoriile deja cunoscute.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere orizontale. Studiile matematice se bazează pe anumite relații deja stabilite, atât în cadrul teoriei elasticității, cât și la formațiunile de roci neatacate prin lucrările miniere.

Dacă se consideră o particulă materială aflată la o distanță r de centrul axelor de coordonate (fig. XVI.50) și în centrul axelor o lucrare minieră circulară de rază a , se observă că relațiile lui Fenner (3.5) sînt date pentru cazul când r are valori mari, adică particula studiată este foarte departe de lucrarea minieră.

Pentru cazul când $r = a$, relațiile vor deveni :

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{P}{2} \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \frac{r^2 - a^2}{r^2} + \\ &+ \frac{P}{2} \cdot \frac{m-2}{m-1} \left[1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right] \cos 2\theta; \\ \sigma_\theta &= \frac{P}{2} \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \frac{r^2 + a^2}{r^2} - \frac{P \cdot m - 2}{2m-1} \left[1 + \frac{3a^4}{r^4} \right] \cos 2\theta; \\ \tau &= \frac{P}{2} \cdot \frac{m-2}{m-1} \left[-1 - \frac{2a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right] \sin 2\theta \end{aligned} \quad (3.10)$$

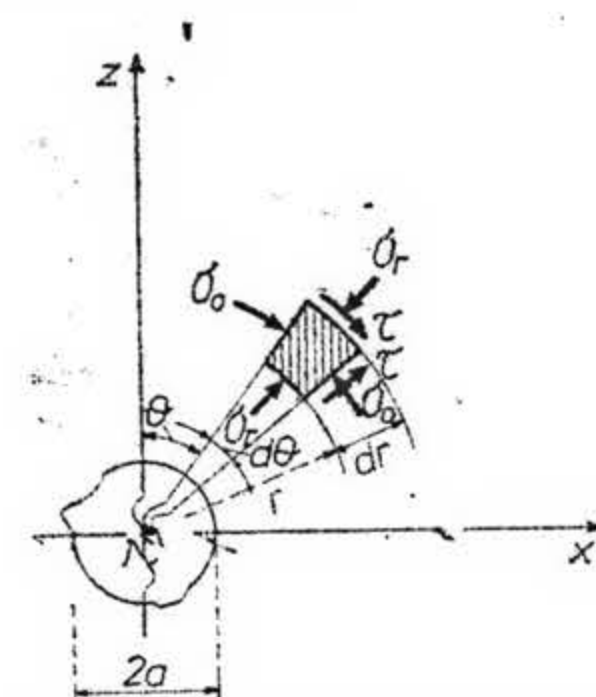


Fig. XVI.50. Starea de tensiune asupra unei particule exprimate în coordonate polare.

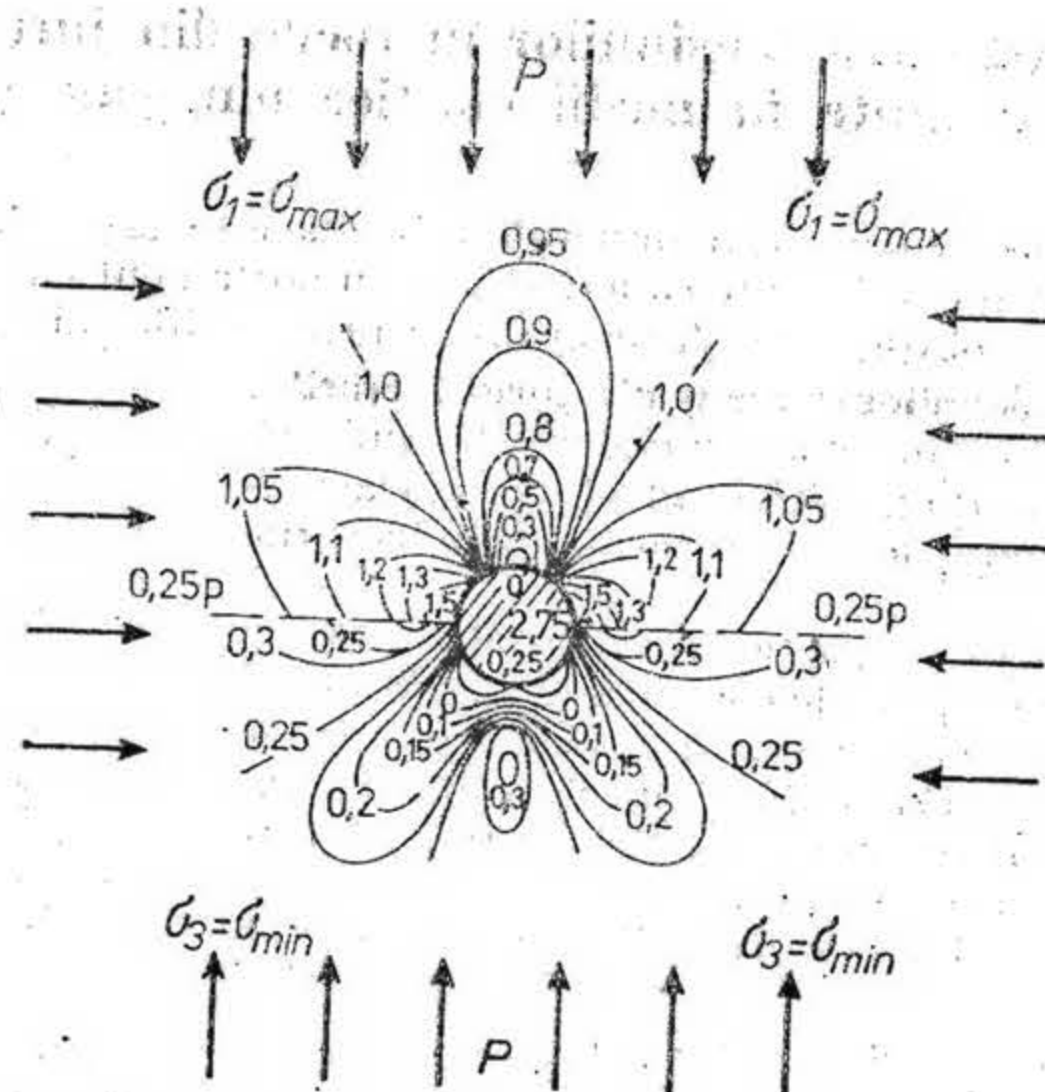
Acste relații corespund întru totul relațiilor (3.5) pentru $m = \infty$, adică pentru cazul unei roci perfect elastice.

Tensiunile principale σ_{max} și σ_{min} , cum și τ_{max} pot fi calculate cu următoarele relații:

$$\sigma_{max/min} = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{4\tau^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2}; \quad (3.11)$$

$$\tau_{max/min} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{4\tau^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2}$$

Dacă se reprezintă grafic punctele cu aceleași valori ale tensiunilor principale σ_{max} și σ_{min} , se obțin, pentru $m = 5$ și valori ale lui $\varphi = 0 - 360^\circ$, izocurbele din fig. XVI. 51.



Tabelul XVI.26

Valorile coeficienților de concentrare a tensiunilor principale pe latura superioară, inferioară și pe mijlocul pereților

Forma secțiunii transversale	Raportul dintre înălțime și lățime a/b	Circulară	Eliptică 2:3; 3:2	Dreptunghiulară				Pătrată 1:1	Dreptunghiulară		
				18:1	5:1	3:1	1:1		1:3	1:5	1:18
Marginea (latura) superioară și inferioară a secțiunii	σ_{max}	0,00	0,00; 0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
	σ_{min}	-0,25	-0,42; 0,00	0,70	-0,16	-0,23	-0,44	-0,64	-0,67	0,75	
Marginile secțiunii în mijlocul pereților	σ_{max}	2,75	3,75; 2,20	0,80	0,96	1,00	1,30	2,00	2,23	5,00	
	σ_{min}	0,00	0,00; 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Coeficienții de concentrare care au semnul (-) indică tensiuni de tracțiune.

Din analiza tensiunilor din jurul lucrărilor miniere orizontale se constată că:

— în pereții lucrărilor miniere cu secțiune pătrată și dreptunghiulară există tensiuni de compresiune a căror valoare maximă este la partea superioară și la cea inferioară a pereților, iar cea minimă, la mijlocul înălțimii acestora;

— în lucrările de formă circulară sau eliptică, pereții sînt supuși, de asemenea, tensiunilor de compresiune, aceste tensiuni fiind maxime la extremitățile axei orizontale;

— în tavanul și vatra lucrării apar, în cele mai dese cazuri, tensiuni de tracțiune;

— la lucrările cu secțiune poligonală se produc concentrări de tensiuni de compresiune și de forfecare la punctele de contact dintre tavan și pereți, respectiv la punctele de contact dintre vatră și pereți.

Cele mai expuse din punct de vedere al rezistenței și stabilității sînt porțiunile din perimetrul secțiunii lucrării subterane supuse la tensiuni de tracțiune și de forfecare.

Zonele respective se identifică cu ajutorul relațiilor:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \gamma_a \cdot H \leq \sigma_t$$

și

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \gamma_a \cdot H \leq \sigma_f \quad (3.13)$$

Pentru ca lucrarea minieră să fie stabilă, valorile astfel determinate nu trebuie să depășească rezistențele mecanice respective ale rocilor considerate.

Studiile analizate pînă în prezent s-au referit la forme geometrice perfecte. Dacă se ține seama de faptul că lucrările miniere au conturul real neregulat, cu înfrîngeri și ieșinduri, în special cînd se folosesc lucrări de perforare-împușcare, acestea vor genera concentrări suplimentare ale tensiunilor în comparație cu tensiunile calculate ale conturului proiectat. Coeficienții de concentrare suplimentară a tensiunilor în vîrfurile neregularităților nu depind de forma conturului lucrării ci, în principal, de amplitudinea și numărul neregularităților. Concentrarea locală a tensiunilor datorită neregularităților conturului este considerabil mai mare decît pentru contururi ideale. Astfel, înfrîngurile cauzează concentrări de tensiuni, iar ieșindurile descărcări de tensiuni.

Pentru evitarea formării tensiunilor suplimentare, care creează perturbări ale stări de tensiune, este recomandabil ca lucrările miniere să se execute prin împușcări de netezire sau cu ajutorul combinelor. În aceste cazuri, tensiunile suplimentare vor fi reduse la minimum.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere verticale. Dacă se consideră o lucrare minieră verticală, cu secțiunea circulară (fig. XVI.55), executată într-un masiv elastic omogen și izotrop, starea de tensiune se exprimă prin relațiile:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma_a H \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right); \\ \sigma_\theta &= \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma_a \cdot H \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Pentru punctele de pe conturul puțului, adică pentru $r = a$, aceste tensiuni au valorile: $\sigma_r = 0$;
 $\sigma_\theta = \frac{2\mu}{1-\mu} \gamma_a \cdot H$, adică $\sigma_\theta = 2\sigma_x = 2\sigma_y$. Se constată, din acest grafic, că tensiunea tangențială are valoarea cea mai mare, iar tensiune radială — valoarea cea mai

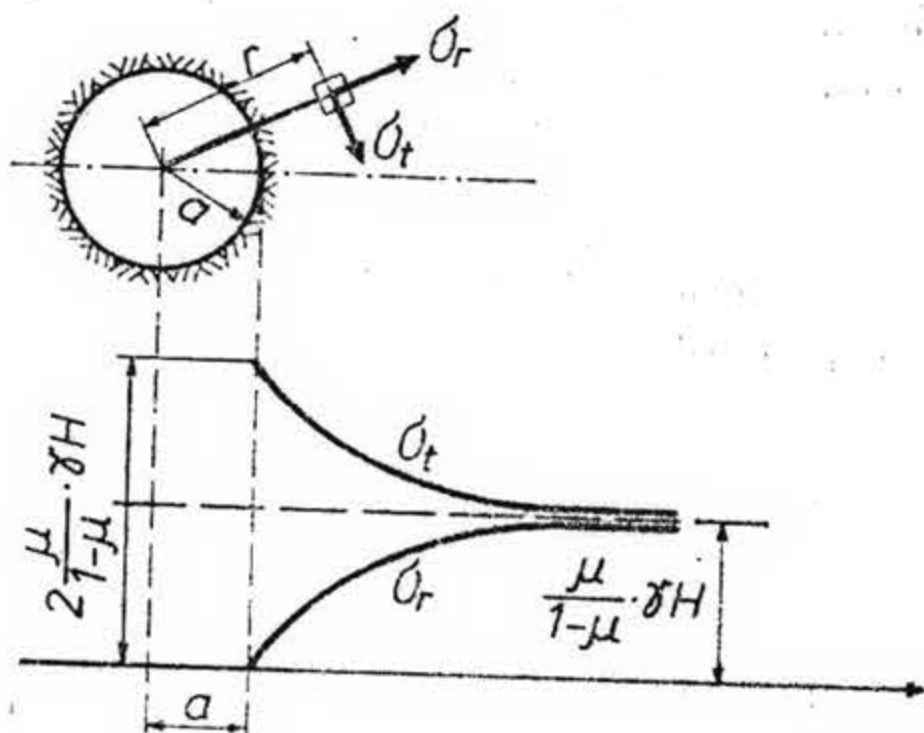


Fig. XVI.55. Variația tensiunilor radiale și tangențiale în jurul unei lucrări miniere verticale cu secțiune circulară (după P. M. Țimbarevici)

mică la periferia puțului și că aceste tensiuni (σ_θ) scad, respectiv (σ_r) cresc, tinzând asimptotic către valoarea:

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma_a \cdot H \quad (3.15)$$

Pentru ca lucrarea minieră verticală să fie stabilă, este necesar să fie satisfăcută relația:

$$\frac{2\mu}{1-\mu} \gamma_a \cdot H \leq \sigma_t \quad (3.16)$$

3.2.1.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii plastice sau elastice

Pornind de la unele date practice referitoare la echilibrul care ia naștere în jurul orificiilor executate în medii plastice sau cu coeziune mică, precum și de la fenomenul de boltire observat la silozurile de cereale, s-a trecut la studierea prin metoda matematică de investigație a tensiunilor care apar în jurul acestor lucrări miniere de diferite forme și destinații.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere orizontale. Plecând de la observațiile amintite, Labass a stabilit ecuația generală de echilibru în jurul unei lucrări miniere circulare, în coordonate polare, pentru cazul unei roci omogene, considerând lucrarea minieră în centrul axelor de coordonate și un element care se află la distanța r față de centrul axelor de coordonate (fig. XVI.56).

Se consideră că acest element se află în echilibru dacă proiecția forțelor pe raza care trece prin centrul de greutate și pe perpendiculara la această rază vor fi egale cu zero. În acest caz:

$$\begin{aligned} & \sigma_r \cdot r d\omega - \left(\sigma_r + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} dr \right) (r + dr) d\omega + \sigma_t dr \cdot \sin \frac{d\omega}{2} + \\ & + \left(\sigma_t + \frac{\partial \sigma_t}{\partial \omega} d\omega \right) dr \cdot \sin \frac{d\omega}{2} + \tau dr \cdot \cos \frac{d\omega}{2} - \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial \omega} d\omega \right) dr \cdot \cos \frac{d\omega}{2} + \gamma_a r d\omega dr \cdot \cos \omega = 0; \\ & \sigma_t dr \cdot \cos \frac{d\omega}{2} - \left(\sigma_t + \frac{\partial \sigma_t}{\partial \omega} d\omega \right) dr \cos \frac{d\omega}{2} + \\ & + \tau_r d\omega - \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial r} dr \right) (r + dr) d\omega - \tau dr \cdot \sin \frac{d\omega}{2} - \\ & - \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial \omega} d\omega \right) dr \sin \frac{d\omega}{2} - r d\omega dr \gamma_a \cdot \sin \omega = 0 \end{aligned} \quad (3.17)$$

După o serie de calcule se obține:

$$\sigma_r = p_i \left(\frac{r}{a} \right)^{j-1} + \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma_a \cdot a}{j-2} \left[\left(\frac{r}{a} \right)^{j-1} - \frac{r}{a} \right] \cos \omega \quad (3.18)$$

$$\sigma_t = j \sigma_r$$

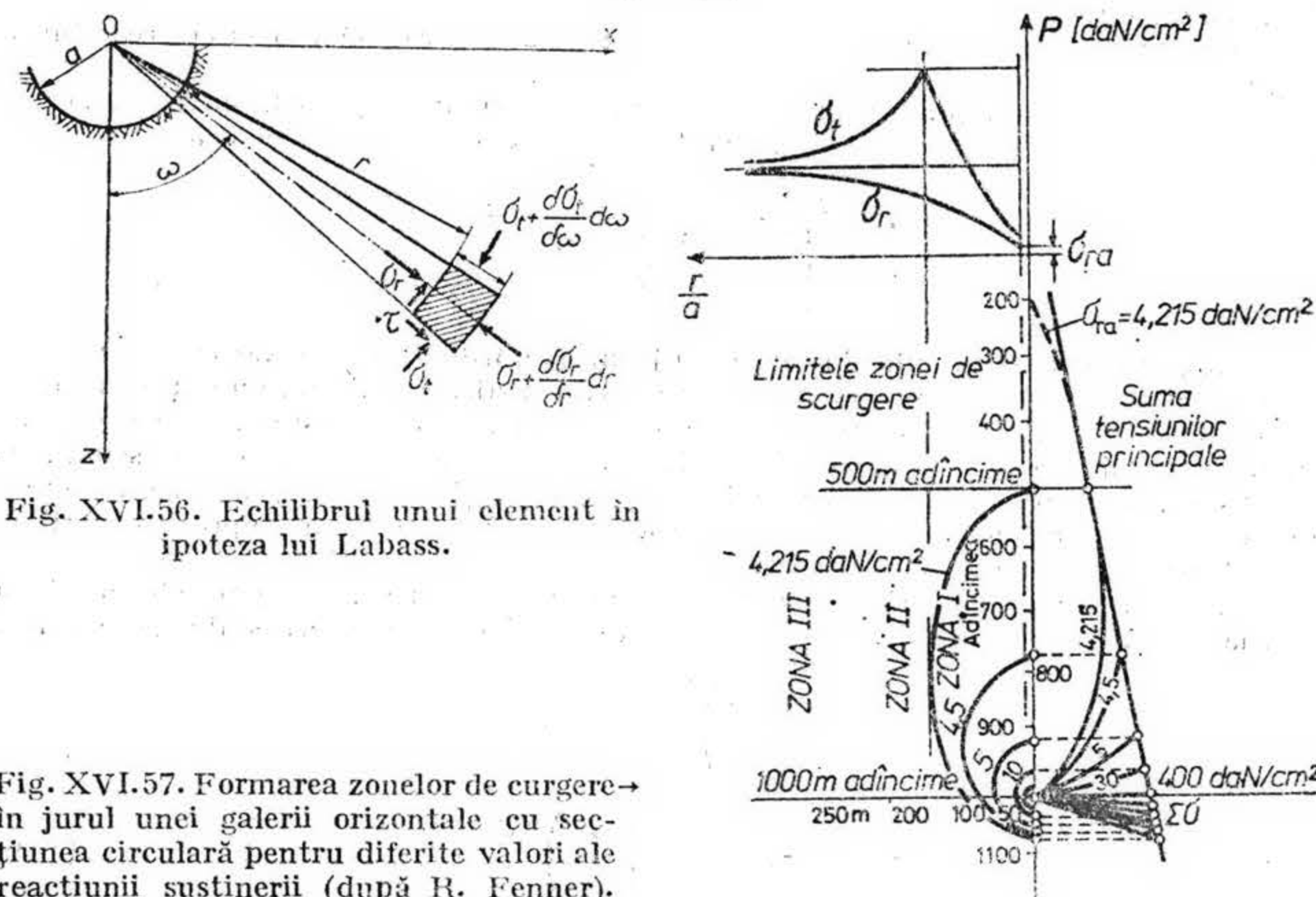


Fig. XVI.56. Echilibrul unui element în ipoteza lui Labass.

Fig. XVI.57. Formarea zonelor de curgere în jurul unei galerii orizontale cu secțiunea circulară pentru diferite valori ale reacțiunii susținerii (după R. Fenner).

În urma studierii stărilor de tensiune se ajunge la concluzia că în jurul unei galerii circulare se formează o zonă de curgere de formă eliptică, cu axa mare verticală, având axa galeriei în focarul inferior (fig. XVI. 57).

Această zonă de curgere se extinde pe distanțe cu atât mai mari, cu cât tensiunile radiale pe periferia lucrării, care se consideră egale cu reacțiunea susținerii p_i sau σ_{ra} , sînt mai mici.

Dacă reacțiunea susținerii scade sub o valoare anumită, caracteristică fiecărei roci în parte, atunci limita zonei de curgere nu mai este o elipsă, ci o curbă deschisă de genul parabolei, care taie suprafața. Aceasta înseamnă, din punct de vedere practic, că în jurul galeriei respective nu se va ajunge la un echilibru între tensiunile interioare, fenomenul de curgere fiind continuu spre golul creat de galerie. În astfel de roci, pentru a stabili echilibrul, va trebui să se aplice o susținere de mare rezistență.

În urma acestor studii, H. L a b a s s, însușindu-și punctul de vedere al lui R. F e n n e r, admite ideea că în jurul lucrărilor miniere săpate în roci clastice sau plastice sau în roci elastice, unde tensiunile au depășit rezistențele corespunzătoare, se formează trei zone, și anume;

— zona tensiunilor *reduse*, în interiorul căreia rocile sînt fisurate și afinate, zonă delimitată de o suprafață învelitoare; în interiorul acestei zone tensiunile radiale și cele tangențiale cresc continuu;

— zona tensiunilor *mărite* — inel portant — care cuprinde o bandă îngustă situată de-a lungul suprafeței învelitoare; în această zonă tensiunea tangențială atinge valoarea maximă;

— zona *de trecere* de la tensiunile mărite la tensiunile din masiv, lucru demonstrat și de faptul că atât tensiunile tangențiale cât și cele radiale tind către valoarea tensiunilor din masivul intact.

Cele trei zone nu au un caracter static, ele evoluind în strînsă legătură cu reacțiunea susținerii.

Considerînd că suprafața învelitoare a primei zone în care rocile sînt sfărîmate și afinate are o formă cilindrică, se va putea determina raza acesteia cu relația:

$$b = a \sqrt{\frac{j+1}{j-1} \frac{2\sigma_z(j-1) + \sigma_c}{\sigma_c}} \quad (3.19)$$

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere verticale. Dacă se presupune că într-o formațiune de roci plastice sau clastice se execută un puț vertical cu secțiunea circulară, avînd o susținere interioară suficient de rezistentă, prevăzută cu anumite orificii, prin care materialul plastic sau clastic are posibilitatea să se scurgă, se va constata că, după o anumită perioadă de timp, se va ajunge la un echilibru între tensiunile din interiorul acelor roci, iar presiunea finală care va acționa asupra susținerii va putea fi preluată de susținerea respectivă.

Pentru stabilirea stării de tensiune din interiorul zonei de curgere, plecînd de la ecuația de echilibru în mediile clastice și aplicînd funcțiile Ery au fost stabilite relațiile:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= p_i \left(\frac{r}{a} \right)^{j-1}; \\ \sigma_\theta &= j \sigma_r = j \cdot p_i \left(\frac{r}{a} \right)^{j-1} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Din examinarea stărilor de tensiune (fig. XVI.58), se constată că tensiunile radiale și cele tangențiale din interiorul zonei de curgere nu depind de adîncimea la care se găsește punctul studiat și nici de greutatea specifică aparentă a rocilor.

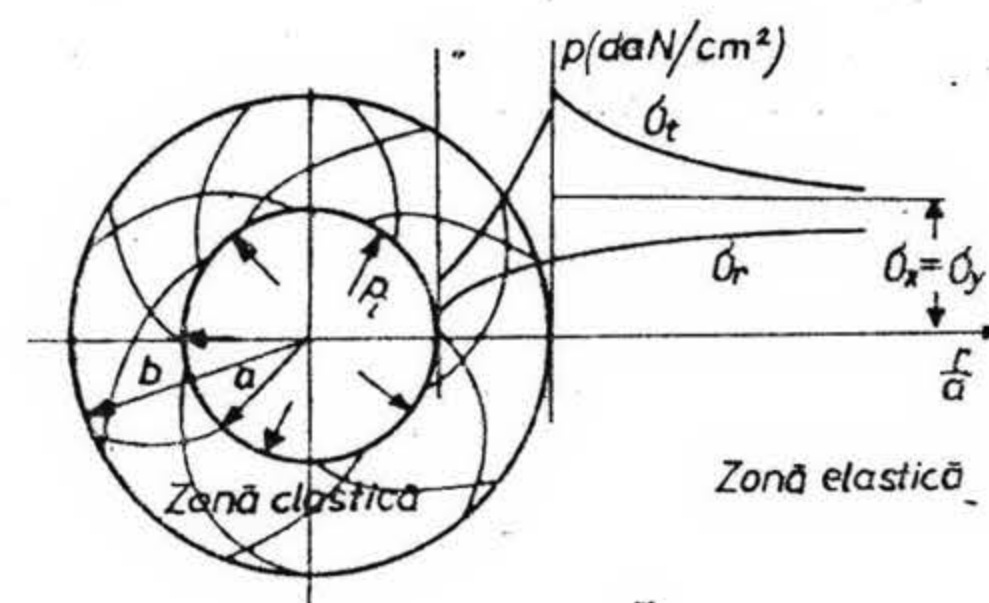


Fig. XVI.58. Starea de tensiune în jurul unei lucrări verticale de secțiune circulară executată în roci elasto-elastice.

În exteriorul zonei de curgere, tensiunile au valorile:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= i \cdot \gamma_a \cdot H \left[1 - \frac{b^2}{r^2} \sin \varphi \right]; \\ \sigma_\theta &= i \cdot \gamma_a \cdot H \left[1 + \frac{b^2}{r^2} \sin \varphi \right]; \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$i = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

Din aceste relații rezultă că tensiunile din exteriorul zonei de curgere depind de adîncime și de greutatea pecifică aparentă. Ca și în cazul lucrărilor miniere orizontale, și aici se formează cele trei zone.

Mărimea razei (b) a zonei de tensiuni reduse se determină din relația:

$$b = a \sqrt{\frac{j-1}{j} \frac{1 - \sin \varphi}{\sigma_{ra}} \cdot \frac{\gamma_a H}{\sigma_{ra}}} \quad (3.22)$$

Pe baza unor considerații teoretice, s-a ajuns la concluzia că un puț vertical executat în roci clastice sau cu coeziune mică va continua să fie stabil dacă după formarea zonei de curgere este îndeplinită condiția:

$$\sigma_{ra} > \gamma_a \cdot a$$

Astfel, pentru un puț care are $a = 3$ m, fiind executat într-o rocă cu $\gamma_a = 2,4 \cdot 10^4$ N/m³, relația devine:

$$\sigma_{ra} > 2,4 \cdot 3 = 0,72 \text{ daN/cm}^2.$$

Această condiție poate fi realizată ușor în practică chiar cu o susținere de mică rezistență.

Când lucrarea minieră se sapă într-o rocă care are o coeziune mică și când tensiunea tangențială întrece ca valoare rezistența de rupere la compresiune a rocilor, formându-se zona sfărâmată, zonă în care rocile mai posedă o oarecare coeziune — legătura între tensiuni este dată de *L a b a s s* sub forma :

$$\frac{\sigma_{\theta} + c \operatorname{ctg} \varphi}{\sigma_r + c \operatorname{ctg} \varphi} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = j$$

Expresiile tensiunilor în zona de curgere au valorile :

$$\sigma_r = (p_i + c \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{j-1} - c \operatorname{ctg} \varphi \quad (3.23)$$

$$\sigma_{\theta} = j \cdot \sigma_r$$

De remarcat că ultimele relații sînt mult mai generale decît relațiile stabilite de *Fenner*, care de altfel se obțin din acestea pentru $c = 0$.

3.2.2. STUDII ȘI CERCETĂRI NUMERICE REFERITOARE LA REPARTIZAREA TENSIUNILOR (METODA ELEMENTELOR FINITE)

Această metodă constituie un procedeu analitic nou prin care se pot rezolva în prezent multe probleme din domeniul mecanicii rocilor și implicit al mineritului.

Metoda are la bază principiul elementelor finite care, de fapt, constă în minimizarea, din aproape în aproape, a funcțiilor și extinderea metodei *Rayleigh-Ritz*. În principal desfășurarea soluționării constă din două probleme : 1) determinarea ecuației cu diferențiale parțiale și ; 2) minimizarea funcției. Aceste două probleme se rezolvă prin intermediul unui număr discret de valori asociate la un punct, *modul specific*, rezultat din divizarea unei regiuni sau suprafețe în o serie de elemente poligonale de diferite forme denumite *elemente* sau *celule*. Se consideră deci masivul de rocă heterogen ca fiind constituit dintr-un număr finit de elemente de formă triunghiulară articulate între ele în vîrfuri (fig. XVI.59). Din acest masiv preluăm un element finit de formă triunghiulară definit de valorile i, j, k , adică de o funcție aproximată prin trei valori nodale Φ_i, Φ_j, Φ_k de tip liniar în coordonate x și y :

$$\Phi = \frac{1}{2\Delta} [(a_i + b_i x + c_i y); (a_j + b_j x + c_j y); (a_k + b_k x + c_k y)] \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \\ \Phi_k \end{Bmatrix}$$

$$\text{unde : } 2\Delta = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix} = 2 \times \text{aria triunghiului } ijk.$$

$$\text{și } a_i = x_k y_j - x_j y_k; \quad b_i = y_k - y_j; \quad c_i = x_j - x_k;$$

$$a_j = x_i y_k - x_k y_i; \quad b_j = y_i - y_k; \quad c_j = x_k - x_i;$$

$$a_k = x_j y_i - x_i y_j; \quad b_k = y_j - y_i; \quad c_k = x_i - x_j;$$

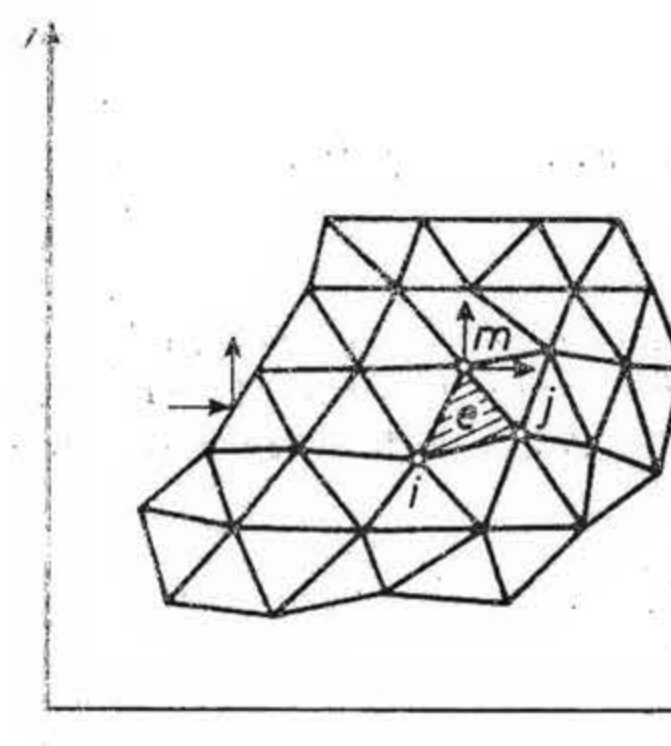


Fig. XVI.59. Structura plană divizată în triunghi.

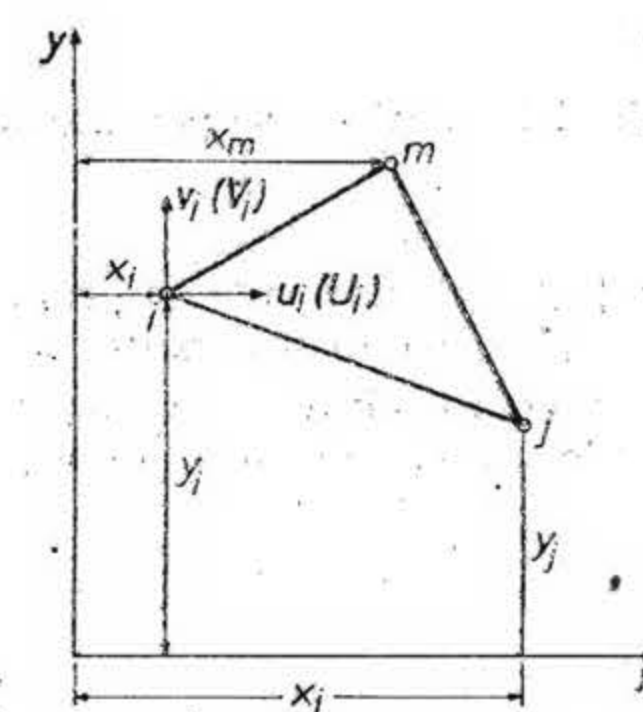


Fig. XVI.60. Triunghi elementar definit prin puncte nodale.

unde $x_i, x_j, x_k, y_i, y_j, y_k$ sînt coordonatele punctelor nodale ce definesc elementul triunghiular. Relația anterioară poate fi redată ca ecuație diferențială și sub formă :

$$\Phi = [N_i; N_j; N_k] \{\Phi^e\} = \{N(x; y)\} \{\Phi^e\}$$

care după derivare se poate minimiza.

Mărimea unui element utilizat în modelarea problemelor prin procedeul elementului finit nu este arbitrar aleasă, ci ea corespunde sensului fizic ce dorim să-l modelăm. Fiecare element al modelului considerat poate fi identificat prin trei puncte nodale i, j, k numerotate în sens invers acelor de ceasornic și localizat prin coordonatele de poziție (fig. XVI.60) :

$$i(x_i; y_i); j(x_j y_j); k(x_k y_k)$$

și de mărimi fizice ca : proprietățile fizico-mecanice, elastice și reologice ale rocii studiate. Toate aceste mărimi vor defini în primul rînd elementul e și, în final, întreaga structură printr-o funcție de deplasări (∂); de deformării (ε); de tensiunea (σ) de forțe nodale (F) și funcția de funcții care este soluția întregului ansamblu — masivul de rocă studiat, în contextul fenomenului analizat. Astfel, pentru cazul rețelilor de tip triunghiular, funcțiile deplasării se pot reda sub forma polinoamelor de tipul :

$$u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \quad (3.24)$$

$$v = \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y.$$

unde $\alpha_1 \dots \alpha_6$ sînt parametrii de liniarizare constanți pentru un element. Deci :

$$u_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i v_i = \alpha_4 + \alpha_5 x_i + \alpha_6 y_i$$

$$u_j = \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j v_j = \alpha_4 + \alpha_5 x_j + \alpha_6 y_j$$

$$u_k = \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k v_k = \alpha_4 + \alpha_5 x_k + \alpha_6 y_k$$

Adică : $\{\partial\}^e = [A] \{\alpha\}$

Funcția deformațiilor se poate reda prin intermediul deplasărilor sub forma :

$$\{\varepsilon\}^e = [B] \{\partial\}^e \quad (3.25)$$

unde : $\{\varepsilon\}^e$ este vectorul componentelor deformației unui element $\{\varepsilon_x; \varepsilon_y; \gamma_{xy}\}$

$\{\partial\}^e$ — vectorul deplasărilor nodale pentru același element $\{u_i; u_j; u_k; v_i; v_j; v_k\}$

În conformitate cu legea constitutivă considerată, în cazul de față legea lui Hooke, tensiunile într-un element devin :

$$\{\sigma\}^e = [D] \{\varepsilon\}^e$$

sa u :

$$\{\sigma\}^e = [D] [B] \{\partial\}^e \quad (3.26)$$

Forțele nodale pot fi calculate din coordonatele tensiunilor prin intermediul expresiei :

$$\{F\}^e = [C] \{\sigma\}^e \quad (3.27)$$

Combinînd ecuațiile de mai sus se obține :

$$\{F\}^e = [K]^e \{\partial\}^e \quad (3.28)$$

unde $[K]^e$ reprezintă matricea de rigiditate a unui element

$$[K]^e = [C] [D] [B] \quad (3.29)$$

$[C]$ — este o matrice cu 6 rînduri și trei coloane, în general transpusa lui $[B]$, adică $[B]^T$ și ea depinde de forma și orientarea elementului.

Pentru o rețea întregă de n elemente finite, relația devine :

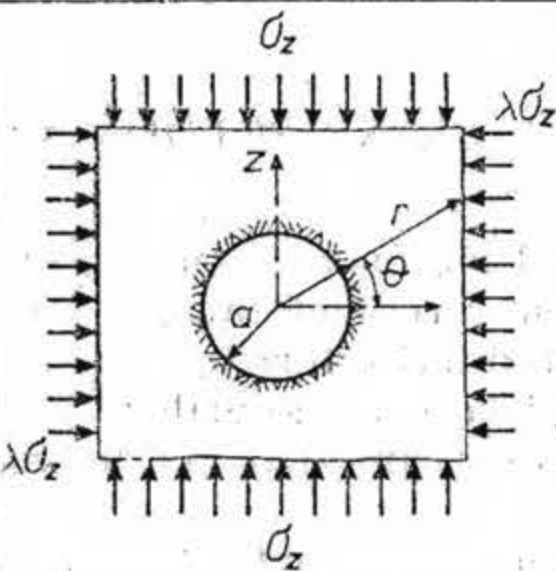
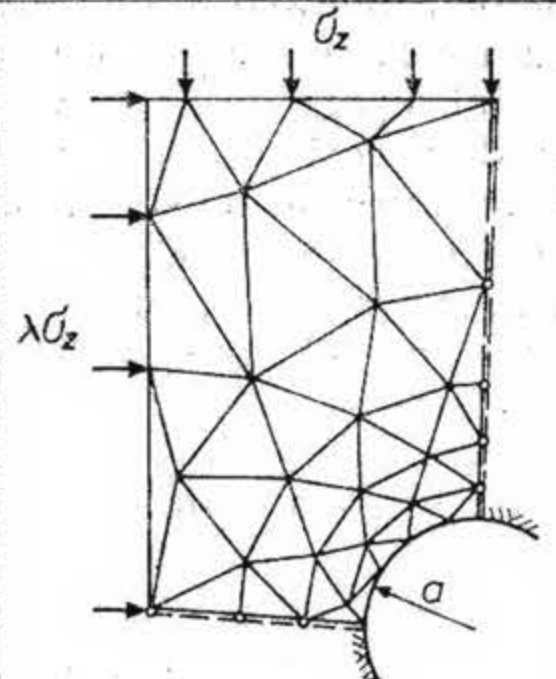
$$F = [K_n] \{\partial\}^e \quad (3.30)$$

unde $[K_n]$ este $n \cdot n$ matricea ca matrice de matrice a întregului sistem considerat. În baza ultimei expresii și utilizînd principiul lucrului mecanic, virtual se pot determina forțele F după care problema este rezolvată, obținîndu-se, conform relațiilor anterioare, starea de tensiune-deformare căutată. Se dă spre exemplificare și comparativ cu soluția clasică (relațiile lui Fenner pentru starea de tensiune-deformare a rocilor din jurul unei lucrări miniere orizontale de formă circulară executată într-un masiv elastic omogen și izotrop) rezultatele obținute prin metoda elementului finit (tabelul XVI.27).

Deci în metoda elementului finit pentru rezolvarea unei probleme se parcurg următoarele etape :

1) schematizarea mediului — masivul este înlocuit cu un ansamblu de elemente finite cu proprietăți interconectate în noduri;

Tabelul XVI.27 Compararea valorilor obținute prin metoda clasică și prin metoda elementelor finite

		VALOAREA COMPONENTELOR DE TENSIUNE SECUNDARĂ PLANĂ ȘI A DEPLASĂRII ÎN CAZUL UNEI LUCRĂRI MINIERE ORIZONTALE DE FORMĂ CIRCULARĂ					
		Pentru o stare primară de tensiune monoaxială $\sigma_x = \sigma_y = \lambda \sigma_z = 0$			Pentru o stare primară de tensiune biaxială $\sigma_x = \sigma_y = \lambda \sigma_z$ și $\sigma_z = \gamma_0 H$		
		Tensiunea radială pentru $r=a$	Tensiunea tangențială pentru $r=a$	Deplasarea radială	Tensiunea radială pentru $r=a$	Tensiunea tangențială pentru $r=a$	Deplasarea radială
		σ_r [MPa]	σ_θ [MPa]	u_r [m]	σ_r [MPa]	σ_θ [MPa]	u_r [m]
		METODA CLASICĂ					
		$\theta=0$			$\theta=0$		
		0	-21	0,010	0	-14	-0,0203
		$\theta=90^\circ$			$\theta=90^\circ$		
		0	7	0,0305	0	-14	-0,0203
		METODA ELEMENTULUI FINIT					
		$\theta=0$			$\theta=0$		
		-0,924	-20,951	0,0116	-1,302	-14,28	-0,0202
		$\theta=90^\circ$			$\theta=90^\circ$		
		-0,434	6,727	0,032	-1,302	-14,28	-0,0202
		DATELE PROBLEMEI:					
		$\sigma_z = 7$ MPa					
		$E = 7000$ MPa					
		$\mu = 0,25$					
		$a = 1,5$ m					

2) se stabilesc rigiditățile fiecărui element, respectiv deplasările care apar în noduri cînd se aplică în acestea o forță exterioară. Comportamentul fiecărui element trebuie să aproximeze cît mai bine comportamentul porțiunii de masiv pe care o înlocuiește;

3) se reconsideră masivul, legînd între ele elementele finite în care a fost împărțit. Legăturile se fac în noduri și constau în scrierea unei condiții de echilibru — forțele în nod trebuie să fie nule, adunîndu-le din toate elementele concurente în nodul respectiv;

4) în acest nod se obține un sistem de $2n$ ecuații (n = numărul nodurilor) cu $2n$ necunoscute ($2n$ = numărul deplasărilor nodurilor). Ca termeni liberi vor figura forțele exterioare care se aplică în nodurile respective;

5) rezolvînd sistemul se obțin deplasările întregii structuri și apoi pe baza lor se pot stabili ușor deformațiile și eforturile.

Marele avantaj al metodei este faptul că funcțiile cu care se aproximează comportarea reală a masivului sînt simple, ele putînd avea valori diferite de la element la element. Deci se poate impune fiecărui element o comportare proprie funcție de caracteristicile rocii, aplicînd în calcule caracterul anizotrop și heterotrop al rocii, adică heterogenitatea masivului, diferențele între caracteristicile elastice, comportamentul nelinier sau plastic modul diferit de curgere etc. În cazul unui proces de plastifiere de exemplu, rînd per rînd elementele în care a fost depășită limita elastică se vor comporta plastic, compatibilitatea ansamblului fiind asigurată de rezolvarea simultană a sistemului de ecuații. Tot acest calcul este realizat de calculator; un program de element finit odată pus la punct poate rezolva probleme foarte variate, doar prin modificarea datelor și aplicarea anumitor restricții. Un calcul prin metoda elementului finit face azi posibilă interpretarea justă a comportării în timp a excavațiilor miniere.

3.2.3. STUDII ȘI CERCETĂRI EFECTUATE PRIN METODA OPTICĂ

Pentru determinarea stărilor de tensiune din jurul lucrărilor miniere, în special în cazul profilelor asimetrice, sau pentru cazul cînd aceste probleme nu pot fi studiate prin metodele matematice, se folosește metoda optică sub diferite forme.

Metoda optică polarizatoare. Această metodă, aplicată la lucrările miniere, este similară ca principiu cu metoda aplicată în studiul tensiunilor care apar în diferite organe de mașini.

Metoda constă din executarea, într-o placă de material optic activ (sticlă, celoid, decorit) cu proprietăți elastice, a formei secțiunii transversale a lucrării miniere care urmează a fi studiată. Plăcile din material optic activ sînt supuse la eforturi corespunzătoare adîncimilor din practică, pentru care se urmărește studiul repartizării tensiunilor.

Datorită eforturilor exterioare, se creează în placa de decorit o anumită stare de tensiuni, care depinde de forma profilului studiat. Această stare de tensiuni, care este caracterizată prin zone de compresiune și zone de tracțiune, are ca urmare producerea în placa de material optic activ a unei schimbări a compactității acestui material și anume, în zonele comprimate compactitatea devine mai mare, iar în zonele supuse la tensiuni de tracțiune compactitatea este mai mică.

La început, pe placă modelului, toate punctele în care nu există diferență între tensiunile principale apar întunecate, deoarece acolo nu are loc nici o întîrziere a componentei razei de lumină.

Aceste puncte, de același ordin al tonalității culorii și care sînt caracterizate prin aceeași diferență de tensiuni principale, se prezintă pe imaginea fotografică unite între ele sub forma unor linii curbe, continui, de culoare închisă, numite *curbe de tensiuni egale*. Liniile de diferite ordine sînt separate între ele prin fișii luminoase.

Rezultatele cercetărilor întreprinse prin metoda optică polarizată sînt redată sub formă de fotografii și de grafice ale stărilor de tensiune în fig. XVI.61.

Metoda optică cromatică. Este asemănătoare metodei precedente, cu deosebirea că în acest caz se folosește ca material optic activ igdantina, iar solicitarea este realizată prin greutate proprie. Liniile de tensiuni egale poartă numele de *izocrome*.

Procedeul descris se referă la starea plană de solicitare. Cînd excavațiile subterane prezintă forme complicate, poate fi aplicată fotoelasticitatea spațială prin metoda fixării deformației modelului — *procedeul înghețării tensiunilor*.

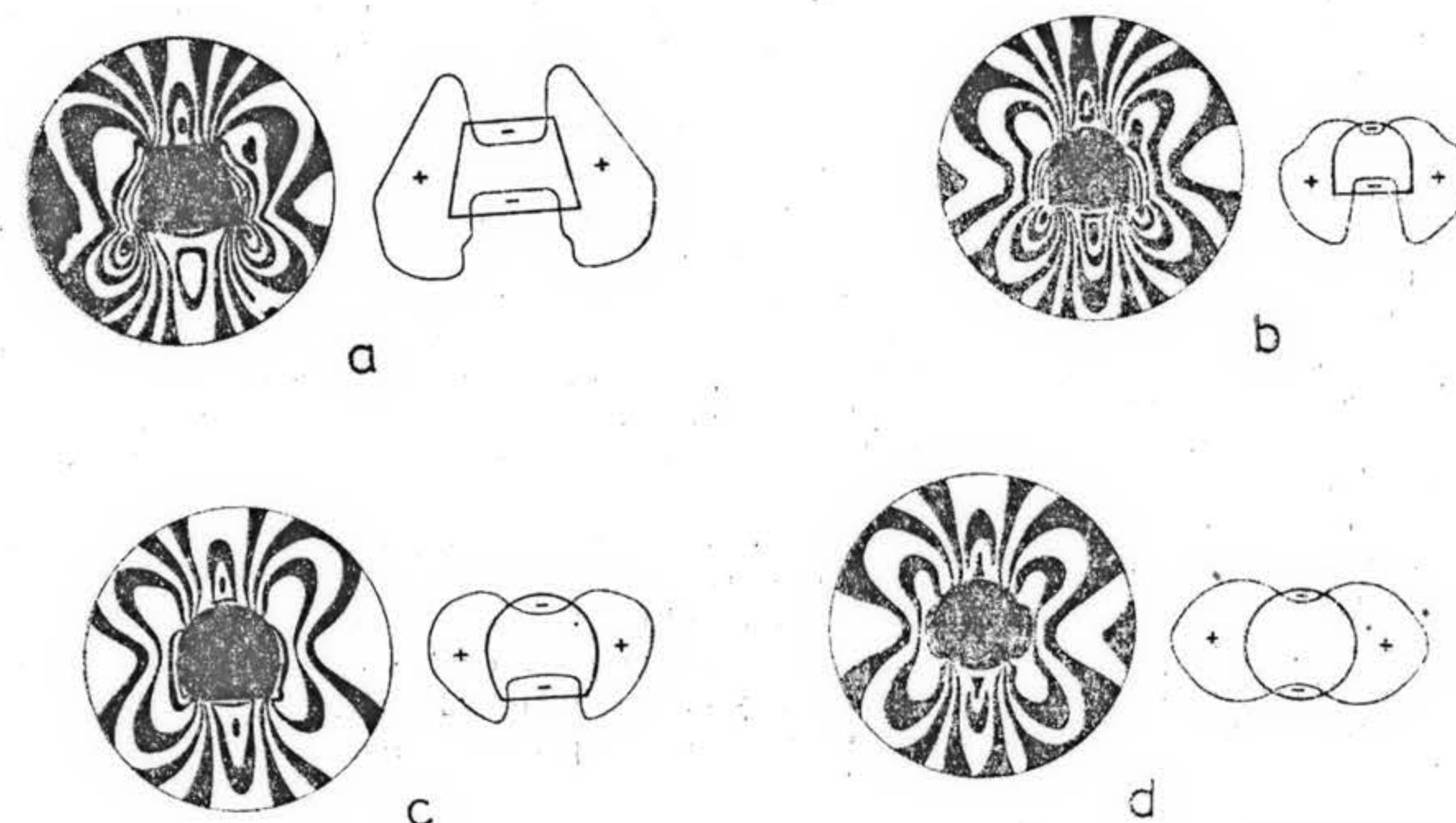


Fig. XVI.61. Repartizarea tensiunilor în jurul unor lucrări miniere orizontale de diferite forme ale secțiunilor transversale (după Dorstewitz):

a — trapezoidală; b — boltită; c — potcoavă; d — circulară.

3.2.4. STUDIUL TENSIUNILOR ȘI A REPARTIZĂRII ACESTORA PRIN MĂSURĂTORI DIRECTE

Metodele analitice folosite în analiza stărilor de tensiuni sînt limitate la anumite forme de profile, iar metodele elementelor finite necesită calculatoare cu performanțe ridicate majorînd mult costul. În foarte multe cazuri, analiza experimentală a stării de tensiune devine singura metodă posibilă de aplicat, avînd o eficiență ridicată într-un timp relativ redus.

Măsurarea tensiunilor în masiv poate fi realizată prin:

- 1) metoda descărcării de tensiuni a masivului de rocă, 2) metoda găurilor de mină și 3) metode bazate pe studiul propagării undelor.

Metoda descărcării rocilor de tensiuni poate fi analizată prin:

- procedeul restabilirii stării inițiale de tensiuni;
- procedeul descărcării parțiale de tensiuni;
- procedeul descărcării totale de tensiuni.

Procedeul restabilirii stării inițiale de tensiuni. Acest procedeu are la bază ideea readucerii rocii în prealabil decomprimate, printr-un fâgaș sau gaură de sondă, la starea inițială de compresiune, cu ajutorul unei aparaturi adecvate, a cărei presiune se poate măsura.

Procedeul implică efectuarea următoarelor operații:

- în prima fază, pe peretele intact al lucrării subterane, adică înainte de executarea fâgașului sau a găurii de sondă, se montează aparate cu coarde vibratorii, determinîndu-se tonalitatea acestora (denumită *tonalitate inițială*);

— în faza a doua, pe porțiunea de cercetat a peretelui galeriei, se execută un fâgaș plan sau o gaură de sondă (după procedeul de lucru ales), care dă posibilitate rocii să se destindă elastic, suferind deformații ce se pot măsura;

— în faza a treia, în interiorul fâgașului se introduce o presă plată, iar în gaura de sondă cu diametrul de 250 mm un dispozitiv constând din patru cricuri independente tip Freyssinet. Presa plată este fixată în interiorul fâgașului cu mortar de ciment (fig. XVI.62).

Pentru găurile de sondă, aparatul nu are nevoie de cimentare, el fiind fixat pe pereți prin simpla creștere a presiunii în cricurile respective.

Operația din această fază de lucru constă în punerea sub presiune a cricurilor până cînd roca înconjurătoare fâgașului sau găurii de sondă ajunge în starea de comprimare inițială, ceea ce se constată prin faptul că toate aparatele cu coarde vibrante revin la tonalitatea lor inițială. Metoda a fost folosită la stabilirea stării de tensiune la l. M. Șuioar — Baia Mare.

Procedeul descărcării parțiale de tensiuni. Procedeul constă în folosirea a trei extensometre dispuse după laturile unui triunghi echilateral cu laturile de 200 mm, în centrul căruia, se forează o gaură de mină cu diametrul de 56 mm sau mai mare (fig. XVI.63).

Gaura servește ca spațiu de destindere a rocii comprimate natural, iar deformațiile sînt înregistrate de microcomparatoarele extensometrelor. Datorită dimensiunii relativ mici a găurii de mină, executarea acesteia nu poate produce fisuri în masa rocii care se

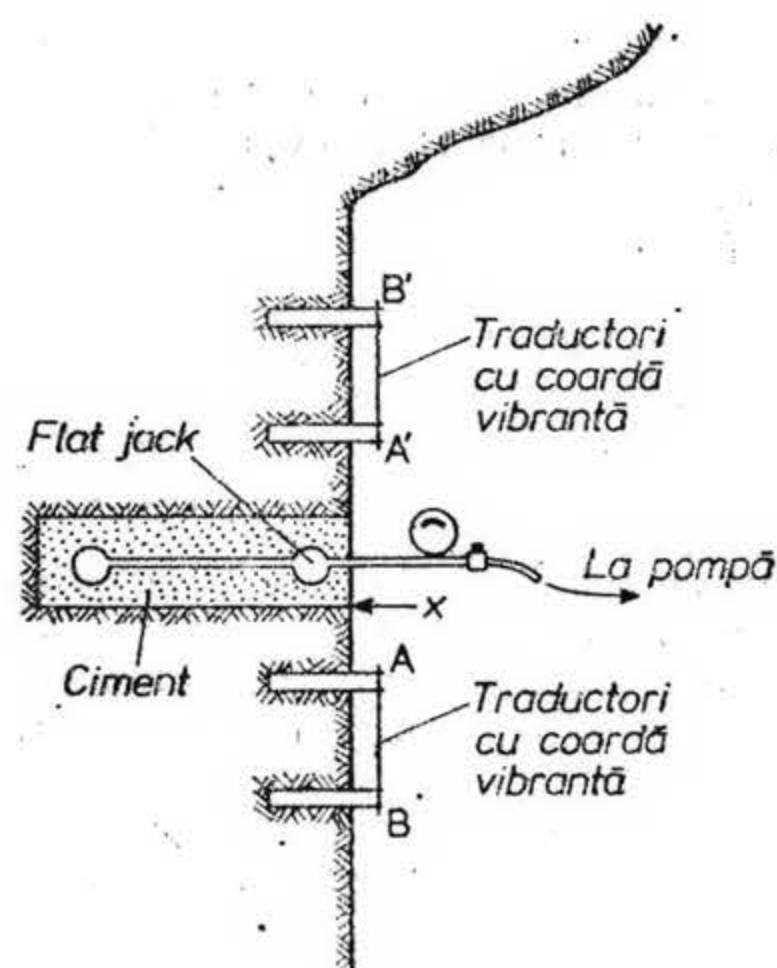


Fig. XVI.62. Procedeul restabilirii tensiunilor inițiale.

cercetează. Rezultatele obținute au valoare locală și nu pot fi generalizate pentru întreaga lucrare subterană. Pentru a avea rezultate cât mai concludente este necesar să se efectueze cât mai multe măsurători în locuri cât mai diferite și pe ambii pereți ai lucrării.

Procedeul descărcării totale de tensiuni. Procedeul descărcării totale se bazează pe îndepărtarea completă a stării de tensiune-deformare existentă în masiv în faza inițială, măsurarea deformațiilor putîndu-se realiza fie pe pereții laterali ai găurii de mină, fie pe fundul acesteia.

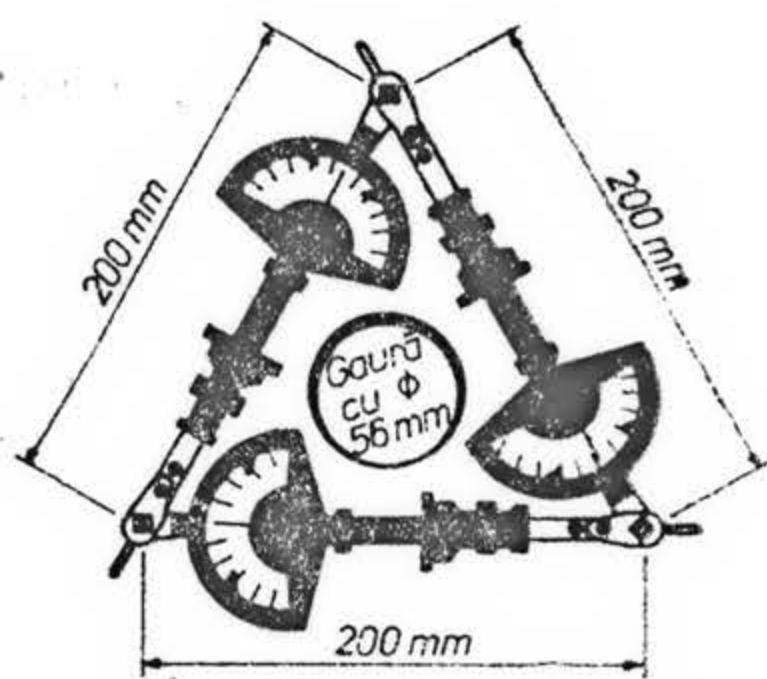


Fig. XVI.63. Procedeul descărcării parțiale de tensiuni.

Măsurarea deformațiilor pereților laterali se realizează cu ajutorul unui *deformometru* (fig. XVI.64), iar măsurarea deformațiilor pe fundul găurii de mină se realizează fie cu ajutorul mărcilor tensometrice (fig. XVI.65), fie prin fotoelasticitate (fig. XVI.66).

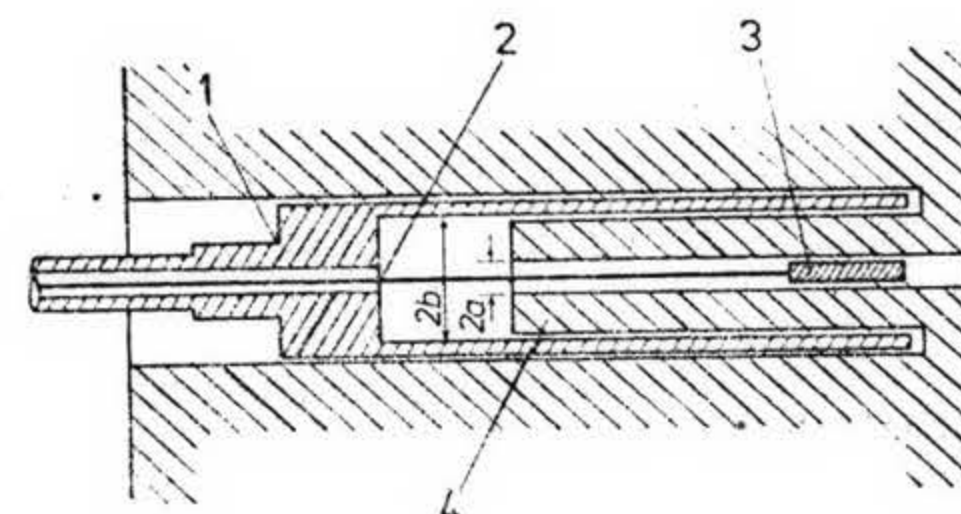


Fig. XVI.64. Modul de realizare a simbului de rocă în procedeul descărcării totale de tensiuni:

1 — coroană rotativă de forare; 2 — axul aparatului de măsurare a deformațiilor; 3 — deformometru; 4 — nucleul de rocă eliberată de tensiune.

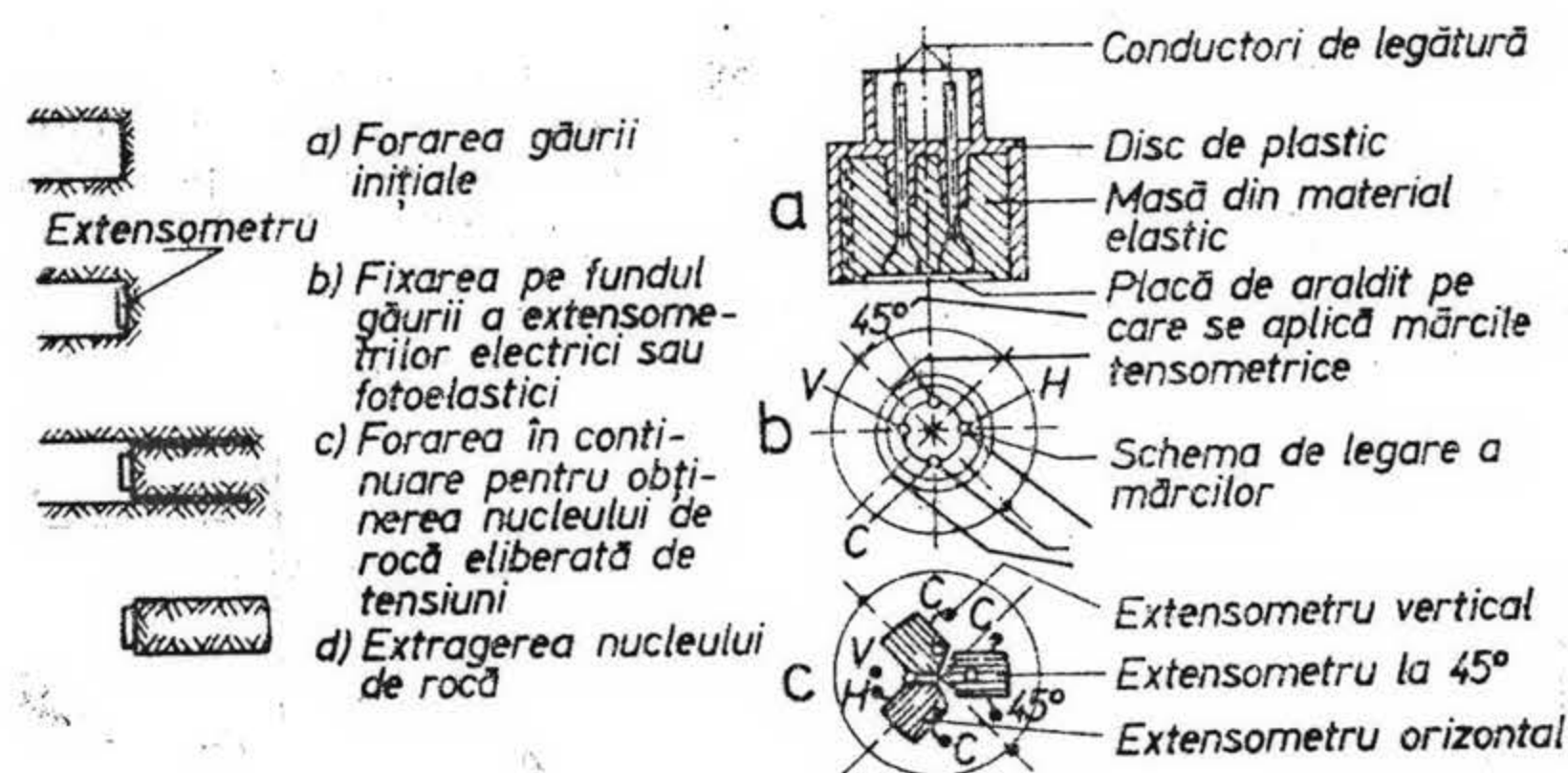


Fig. XVI.65. Măsurarea deformațiilor pe fundul găurii prin:

a — capul dispozitivului cu ajutorul căruia se fixează mărcile tensometrice pe fundul găurii; b — schema electrică de legare a mărcilor tensometrice; c — amplasarea mărcilor tensometrice pe fundul găurii.

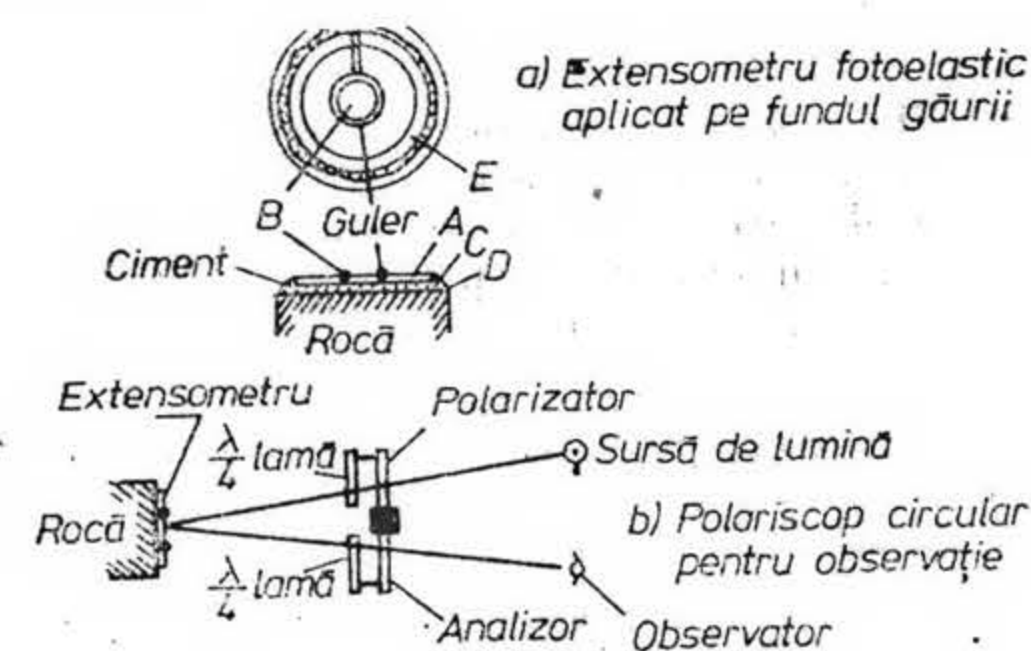


Fig. XVI.66. Măsurarea deformațiilor pe fundul găurilor după procedeul lui Howkes.

Metoda găurilor de mină este asemănătoare celei precedente. Metodele bazate pe studiul propagării undelor au fost tratate anterior. Cele mai bune rezultate în studiul tensiunilor le dau metodele care rezultă din combinarea metodelor teoretice cu verificarea practică a acestora.

3.3. PRESIUNEA ROCILOR ÎNCONJURĂTOARE ASUPRA EXCAVAȚIILOR MINIERE SUBTERANE

Presiunea minieră reprezintă totalitatea forțelor generate de redistribuirea stării inițiale de tensiune din masivul deranjat în urma executării lucrărilor miniere, forțe sub a căror acțiune are loc deformare și deplasarea rocilor înconjurătoare. Această presiune acționează asupra lucrărilor miniere de deschidere și pregătire.

În cazul în care, datorită excavației subterane masele de roci se pun în mișcare, presiunea exercitată de masa mobilă a acestor roci nu mai are un caracter static, ci dinamic, motiv pentru care această presiune este denumită *presiune litodinamică*. Presiunea litodinamică interesează atât la dimensionarea lucrărilor de deschidere și pregătire, cât mai ales la clarificarea problemelor referitoare la dirijarea presiunii în cazul metodelor de exploatare, unde frontul de abataj este în continuă mișcare.

După P. M. Țimbărevici, presiunea litostatică primară și cea secundară sau stabilizată sînt diferite pentru diversele categorii de roci (fig. XVI.67).

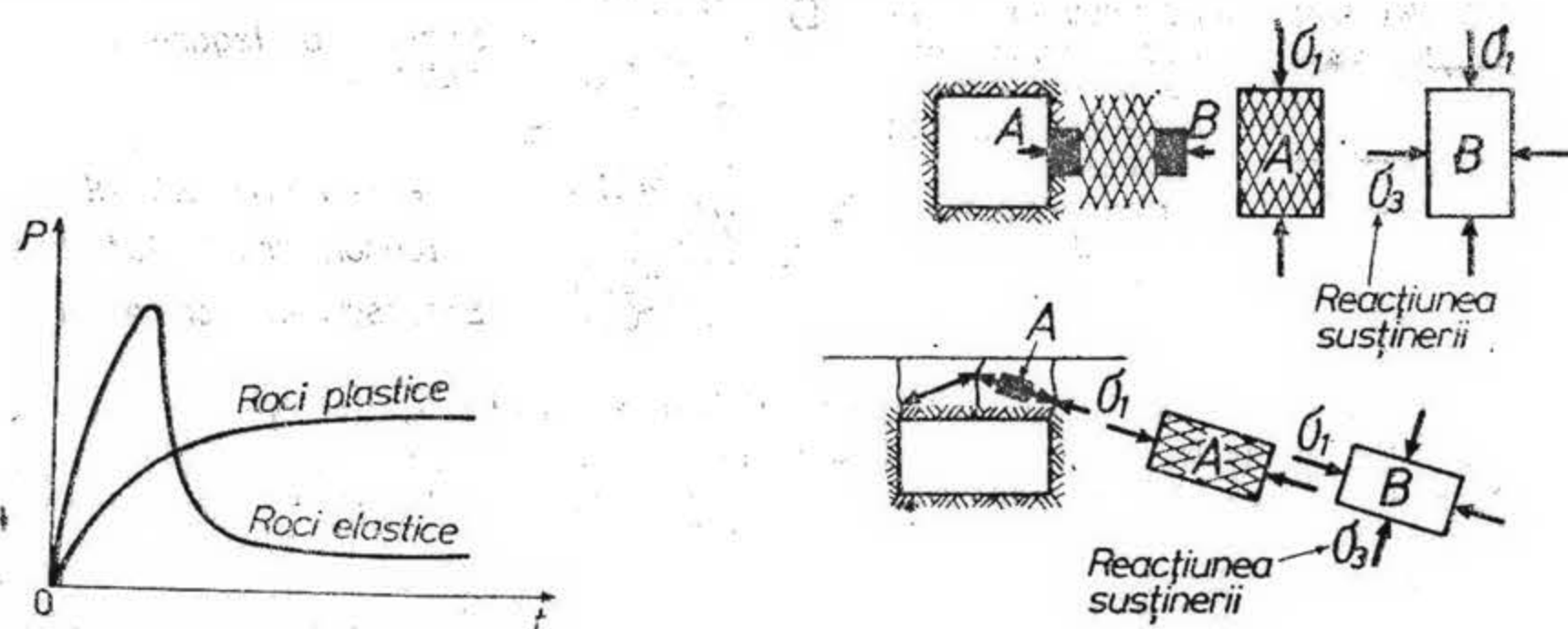


Fig. XVI.67. Reprezentarea presiunii litostactice primare și secundare asupra unei galerii în funcție de timp (după P. M. Țimbărevici).

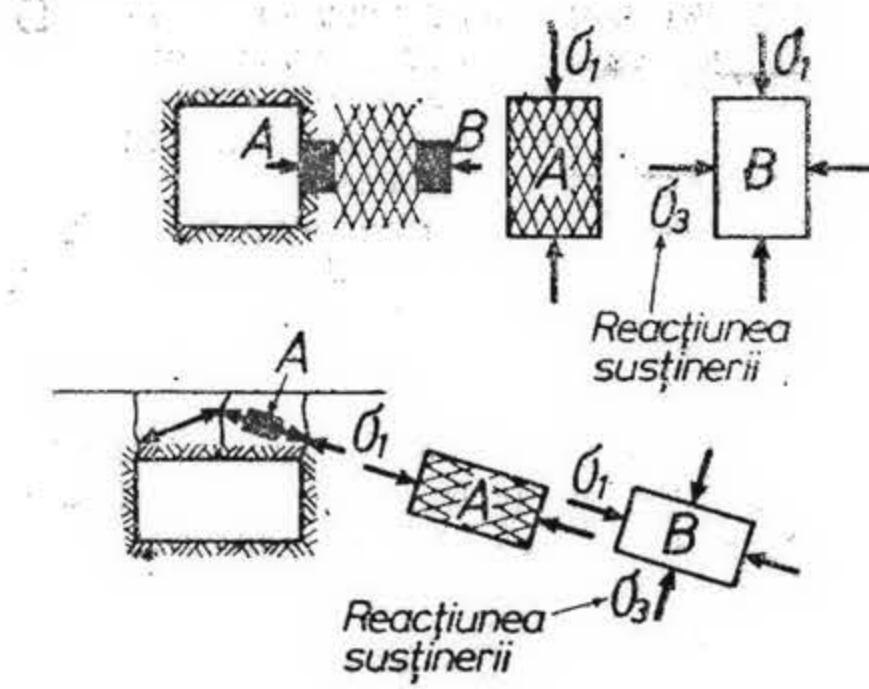


Fig. XVI.68. Formarea fisurilor în pereții și tavanul unei galerii și efectul susținerii.

Pentru ilustrarea modului de manifestare a presiunii, se consideră o excavație subterană (fig. XVI.68) de formă pătrată și un element A care se află pe peretele lateral al lucrării.

Datorită concentrării tensiunilor, presiunea care va acționa asupra elementului după direcția z va fi cu ceva mai mare decât σ_z .

Dacă se notează presiunea maximă de compresiune cu σ_1 și reacțiunea susținerii cu σ_3 , se va putea scrie ecuația de stabilitate a unui element sub forma:

$$\sigma_1 = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} + j \sigma_3 \quad (3.31)$$

După cum se știe, la marginea excavației $\sigma_3 = 0$, în care caz:

$$\sigma_1 = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (3.32)$$

Pentru un unghi de frecare interioară $\varphi = 37^\circ$, se obține:

$$\sigma_1 = 4c.$$

Dacă $\sigma_1 < 4c$, adică tensiunea de compresiune depășește rezistența rocii, fisurarea de forfecare se va extinde pînă la elementul B, unde se presupune că se dezvoltă o tensiune naturală σ_3 , suficient de mare pentru a opri fisurarea de forfecare.

În acest caz:

$$\sigma_1 = 4c + j \sigma_3 \quad (3.33)$$

Rolul tensiunii laterale naturale poate fi jucat de susținere. Astfel, prin montarea unei susțineri cu o reacțiune σ_3 , rezistența la forfecare a rocii crește de la $4c$ pînă la $4c + 4\sigma_3$ — pentru $\varphi = 37^\circ$. Mărirea reacțiunii susținerii poate fi stabilită pentru fiecare caz în parte în funcție de natura rocilor și de modul de comportare a acestora. Situația este similară și pentru tavanul lucrării, unde prin aplicarea unei susțineri cu reacțiunea σ_3 se evită formarea fisurilor de întindere, realizîndu-se astfel condiția de stabilitate necesară.

În cazul cînd presiunile care acționează asupra lucrării miniere întrec rezistența rocilor — lucrarea minieră fiind nesusținută, sau dacă susținerea cedează foarte mult — se formează în jurul lucrării miniere o serie de fisuri de forfecare (fig. XVI.69), care se extind pînă cînd tensiunile naturale orizontale vor fi capabile să oprească forfecarea. Pentru o lucrare minieră cu secțiunea pătrată, fisurarea începe de la colțuri spre tavan și pereții laterali, această lucrare tinzînd în primă fază să devină o lucrare minieră circulară (fig. XVI.69, b), fisurarea continuînd apoi ca și pentru cazul lucrării miniere circulare (fig. XVI.69, a).

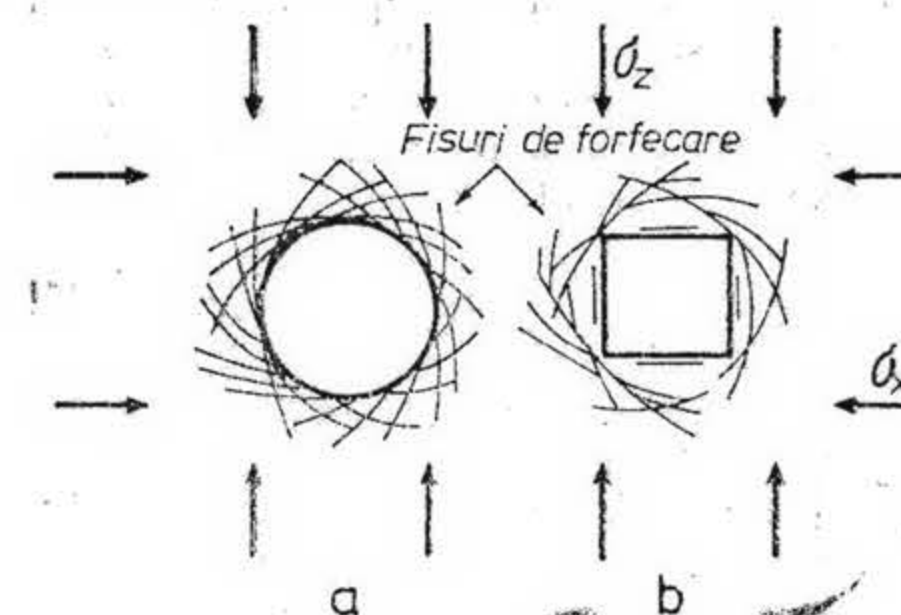


Fig. XVI.69. Formarea fisurilor de forfecare în jurul unei galerii:

a — modul de formare a fisurilor în jurul unei lucrări miniere cu secțiune circulară; b — modul de formare a fisurilor în jurul unei lucrări miniere cu secțiune pătrată.

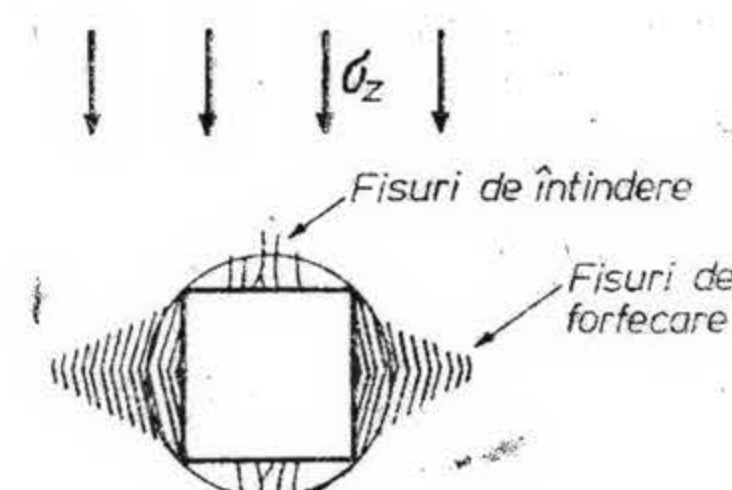


Fig. XVI.70. Formarea fisurilor de forfecare și de întindere la o galerie orizontală.

Direcția fisurilor de forfecare formează un unghi de $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$, cu o rază aleasă în acest punct.

Când asupra lucrării acționează numai tensiuni verticale, pe lângă fisurile de forfecare se vor produce în tavanul și vatra lucrării miniere și fisuri de întindere care, așa după cum se știe, sînt foarte periculoase (fig. XVI.70). Studiul presiunilor poate fi realizat prin metode teoretice, prin măsurători directe sau prin metoda materialelor echivalente

3.3.1. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA LUCRĂRILOR MINIERE ORIZONTALE

3.3.1.1. Presiunea din tavan

Totalitatea ipotezelor referitoare la mărimea presiunii rocilor din tavanul lucrării miniere orizontale pot fi împărțite în două mari grupe și anume:

— ipoteze care consideră că *asupra tavanului unei lucrări miniere acționează întreaga greutate a coloanei stratigrafice de rocă pînă la suprafață*;

— ipoteze care iau în considerare *formarea unei bolți de echilibru natural*.

Pentru ambele grupe au fost create atît ipoteze simplificate, care consideră presiunea rocilor ca o mărime ce nu depinde de susținere, cît și ipoteze care consideră presiunea ca rezultat al interacțiunii dintre susținere și rocile înconjurătoare.

Ipoteze bazate pe presupunerea că presiunea litostatică asupra tavanului este dependentă de grosimea formațiunilor de roci acoperitoare. Aceste ipoteze sînt create în special pentru cazul cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mică, față de suprafață, fiind mult folosite în cazul tunelurilor. Din multitudinea de ipoteze care fac parte din această grupă, aici vor fi tratate doar cîteva dintre cele mai reprezentative, pentru cazul rocilor pămîntoase lipsite de coeziune sau cu coeziune mică, cît și pentru cazul rocilor coezive.

Roci fără coeziune sau cu coeziune mică. Ipoteza se bazează pe împingerea activă asupra zidurilor de sprijin. Conform acestei ipoteze, se consideră că *asupra tavanului unei lucrări miniere de orice formă geometrică acționează greutatea coloanei de roci care se găsesc deasupra lucrării pînă la suprafață, mai puțin valoarea împingerii active a celor două prisme care se formează prin săparea lucrării miniere* (fig. XVI.71) rezultînd:

$$P_v = Q - 2D \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.34)$$

De aici:

$$P_v = \gamma_a H \left[2a - H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi \right] \text{ [daN/cm}^2\text{]} \quad (3.35)$$

Pentru ca rocile să se găsească în echilibru sau, cu alte cuvinte, pentru ca asupra lucrării miniere să nu acționeze nici un fel de presiune, este necesar ca greutatea coloanei de roci care acționează asupra lucrării să fie preluată de împingerea provocată de cele două prisme laterale care se formează, adică:

$$Q = 2D \operatorname{tg} \varphi$$

sau:

$$2aH\gamma_a = \gamma_a H^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi$$

de unde:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} \text{ [m]} \quad (3.36)$$

Aceasta este adîncimea pînă la care ipoteza — în condițiile enunțate — este valabilă. În general, această ipoteză este valabilă pentru cazul cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mică față de suprafață. Astfel dacă se consideră: $2a = 4$ m și $\varphi = 40^\circ$ rezultă:

$$H = \frac{4,0}{\operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - 40^\circ}{2} \right) \operatorname{tg} 40^\circ} \approx 22 \text{ m}$$

Cu alte cuvinte, dacă lucrarea este amplasată la o adîncime mai mare de 22 m, această ipoteză nu mai este aplicabilă, fiind necesară aplicarea unei ipoteze din grupa celor care consideră formarea unor bolți de echilibru natural.

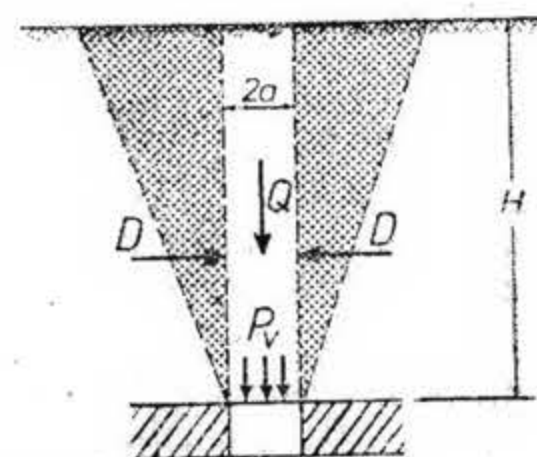


Fig. XVI.71. Schema de calcul a presiunii în ipoteza blocului de alunecare pentru rocile fără coeziune.

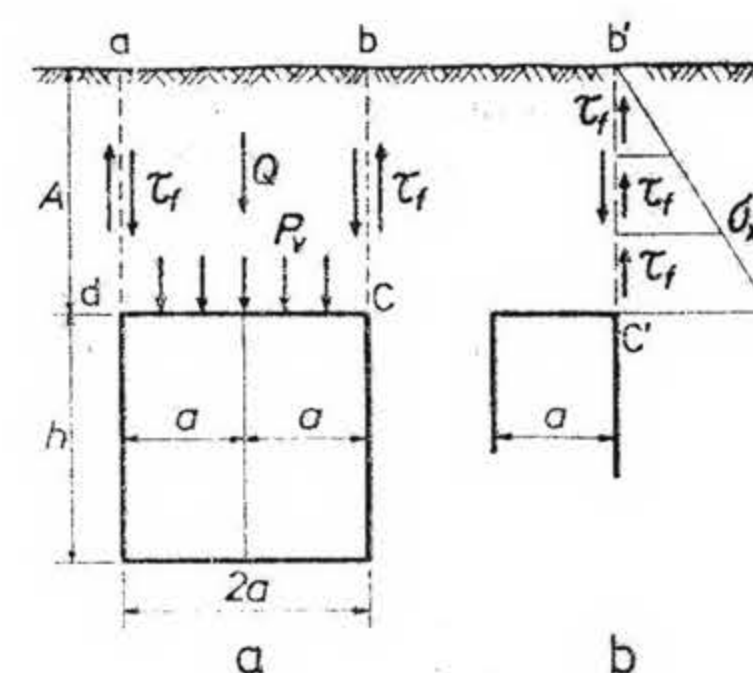


Fig. XVI.72. Schema de calcul a presiunii în ipoteza blocului de alunecare pentru rocile coezive:

a — schema generală de calcul a presiunii;
b — formarea tensiunilor laterale datorită tensiunilor de forfecare.

Astfel, pentru o lucrare minieră cu lățimea $2a = 2$ m, săpată la adîncimea de 10 m, într-o formațiune de roci cu $\varphi = 40^\circ$; $\operatorname{tg} \varphi = 0,84$; $f = 2$ și $\gamma_a = 1,8 \cdot 10^4$ N/m³, adîncimea de la care în jos se formează bolți de echilibru natural va fi:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} = \frac{2}{\operatorname{tg}^2 25^\circ \cdot \operatorname{tg} 40^\circ} \approx 11 \text{ m}$$

Roci coezive. Aici fiind vorba de roci coezive, se va lua în considerare tensiunea de forfecare după planurile *ad* și *bc* (fig. XVI.72), rezultând:

$$P = Q - 2\tau \quad (3.37)$$

Pentru rocile argiloase care au coeziune dar nu au frecare interioară rezultă:

$$P = 2H(a\gamma_a - c). \quad (3.38)$$

În condițiile de echilibru:

$$a \cdot \gamma_a \leq c \quad (3.39)$$

Dacă lucrarea minieră se sapă într-o rocă care are atât coeziune cât și frecare interioară, se obține:

$$P_v = 2H \left[a\gamma_a - \left(c + \frac{1}{2} \sigma_x \operatorname{tg} \varphi \right) \right] \quad (3.40)$$

În condiții de echilibru:

$$a \cdot \gamma_a \leq \left(c + \frac{1}{2} \sigma_x \operatorname{tg} \varphi \right) \quad (3.41)$$

Pentru exemplificare, se consideră că o lucrare minieră cu $2a = 4$ m a fost săpată la adâncimea $H = 10$ m, într-o argilă saturată, cu $c = 0,25$ daN/cm² și $\gamma_a = 1,7 \cdot 10^4$ N/m³. În acest caz:

$$P_v = 2aH \cdot \gamma_a - 2cH$$

sau $P_v = 400 \cdot 1000 \cdot 0,0017 - 2 \cdot 0,25 \cdot 1000 = 180$ daN/cm = 0,45 daN/cm², iar:

$c < a \cdot \gamma_a$, adică $0,25 < 0,34$ și, în acest caz, lucrarea minieră trebuie susținută.

Dacă se va micșora lățimea lucrării miniere de la 400 cm la 280 cm: $c > a \cdot \gamma_a$, adică $0,25 > 0,24$, caz în care lucrarea minieră va fi în echilibru, fără a avea nevoie de susținere. Este evident faptul că valoarea presiunii calculate este mărimea care acționează asupra susținerii imediat după săparea lucrării miniere. După o perioadă mai îndelungată de timp — fiind vorba aici de argile saturate — presiunea va crește treptat pînă la valoarea greutatei coloanei de rocă care se găsește deasupra lucrării. Faptul că presiunea maximă se dezvoltă după o perioadă mai îndelungată de timp, permite folosirea în faza inițială a unei susțineri provizorii mai ușoare, aceasta fiind urmată de o susținere definitivă cu portanță sporită.

K. V. Terzaghi, plecînd de la ipoteza lui Iannsen și Bin, consideră că în cazul materialelor granulare care mai posedă și o oarecare coeziune

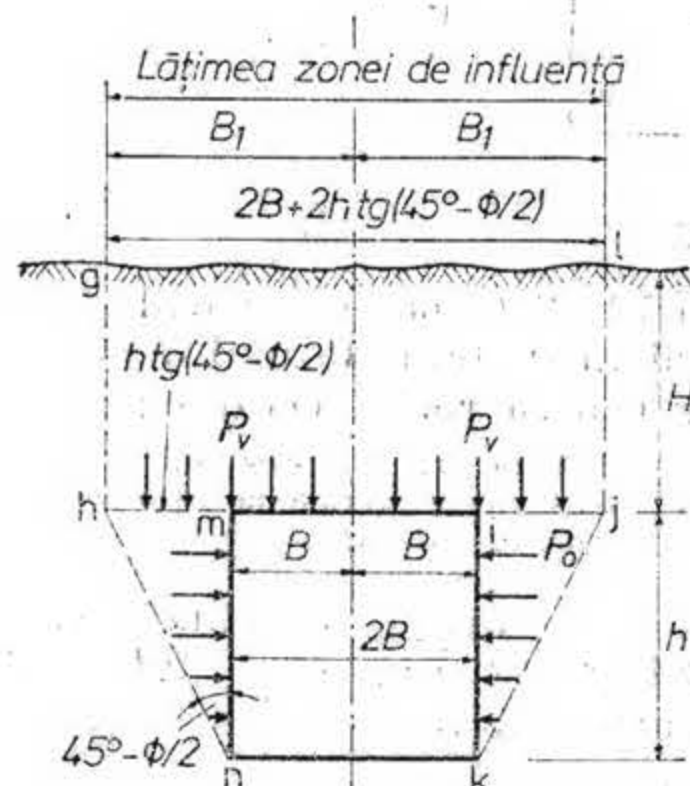


Fig. XVI.73 Schema de calcul a presiunii pentru rocile granulare (după K. V. Terzaghi).

(fig. XVI 73). presiunea poate fi stabilită cu relația:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \frac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg} \varphi} \left[1 - e^{-K \operatorname{tg} \varphi \frac{H}{B_1}} \right] \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (3.42)$$

în care:

$$B_1 = B + h \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.43)$$

K — coeficient care variază de la valoarea unitară, pentru mijlocul susținerii, la 1,5 pentru cele două limite laterale.

Dacă H/B este mare, valoarea termenului exponențial se apropie de zero și formula devine:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \frac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg} \varphi} \quad (3.44)$$

Această relație poate fi aplicată când $H/B = 4-5$, adică atunci când lucrarea minieră este amplasată la o adâncime mai mare de cel puțin 2-3 ori lățimea lucrării.

Când $c \geq B_1 \cdot \gamma_a$, presiunea verticală asupra susținerii va fi egală cu zero, adică lucrarea minieră se va autosusține.

Pentru exemplificare, se consideră că o lucrare cu $B = 200$ cm și $h = 360$ cm este săpată într-o rocă granulată cu $\varphi = 37^\circ$:

$$\gamma_a = 0,0016 \text{ daN/cm}^3 \text{ și } c = 0$$

În acest caz:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \frac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg} \varphi} = 380 \frac{0,0016 - \frac{0}{380}}{1 \cdot 0,75} = 0,8 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă roca va poseda o coeziune de $c = 0,25$ daN/cm², vom avea:

$$P_v = 380 \frac{0,0016 - \frac{0,25}{380}}{1 \cdot 0,75} = 0,5 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru acest caz:

$$B_1 \gamma_a > c, \text{ adică } 0,6 > 0,25$$

Pentru ca lucrarea minieră să se autosusțină este necesar ca roca să posede o coeziune de cel puțin 0,6 daN/cm².

Ipoteze bazate pe presupunerea că presiunea litostatică asupra tavanului este independentă de grosimea formațiunilor de roci acoperitoare. Din această grupă fac parte mai multe ipoteze care sînt asemănătoare între ele:

Astfel, W. Ritter consideră că în tavanul lucrării miniere se formează o boltă de echilibru închisă de o curbă de ecuație (fig. XVI.74):

$$y = \frac{\gamma a \cdot x}{4 \sigma_t} \cdot (d - x) \quad (3.45)$$

În consecință presiunea care va acționa asupra tavanului va fi dată de greutatea rocilor din interiorul boltii (pentru o lungime pe direcție de 1 m), mai puțin forțele de coeziune ale rocii care se manifestă ca rezistențe la tracțiune, rezultînd:

$$P_v = Q - D \quad (3.46)$$

După efectuarea calculelor se obține:

$$P_v = Q - D = \gamma a \cdot d \left(\frac{\gamma a d^2}{48 \sigma_t} - \frac{\sigma_t}{\gamma a} \right) \text{ [daN/cm}^2\text{]} \quad (3.47)$$

Dacă $P_v < 0$, asupra tavanului lucrării miniere nu va exista presiune, deoarece greutatea rocii în acest caz este mai mică decît coeziunea rocii respective.

Dacă însă $P > 0$, atunci lucrarea minieră trebuie susținută. Această ipoteză dă rezultate satisfăcătoare la dimensionarea camerelor de exploatare la minele de sare. În general, ea este aplicabilă rocilor coezive.

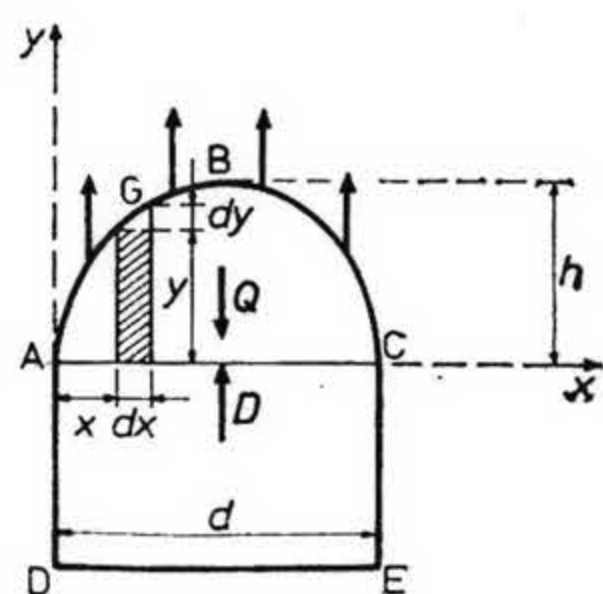


Fig. XVI.74. Schema de calcul a presiunii (după W. Ritter).

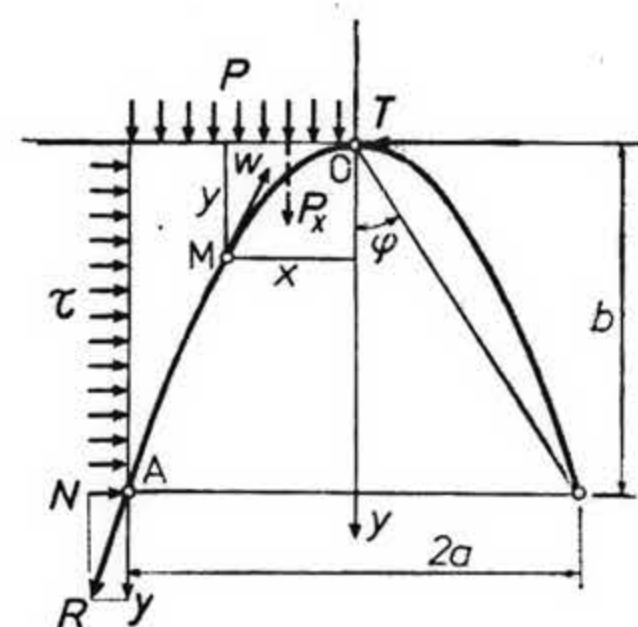


Fig. XVI.75. Formarea boltii de echilibru deasupra tavanului unei lucrări miniere orizontale (după M. M. Protodiakonov).

M. M. Protodiakonov consideră că în tavanul lucrării se formează o boltă parabolică de echilibru (fig. XVI.75):

$$y = \frac{Px^2}{2T} \quad (3.48)$$

Datorită tensiunilor, rocile din interiorul boltii sînt sfărîmate, acționînd cu greutatea lor asupra susținerii, rezultînd:

$$\text{— pentru cazul rocilor tari } P_{min} = \frac{\gamma a a^2}{f} \text{ [daN/cm}^2\text{]} \quad (3.49)$$

$$\text{— pentru cazul rocilor moi } P_{max} = \frac{4}{3} \frac{\gamma a \cdot a^2}{f} \text{ [daN/cm}^2\text{]} \quad (3.50)$$

Presupunînd că asupra tavanului acționează presiunea reală P , rezultă:

$$P_{max} > P > P_{min} \quad (3.51)$$

$$\text{Pentru roci moi: } P > \frac{P_{max} + P_{min}}{2}$$

$$\text{Pentru roci tari } P < \frac{P_{max} + P_{min}}{2}$$

$$\text{Pentru roci cu tărie medie } P = \frac{P_{max} + P_{min}}{2}$$

Protodiakonov a stabilit și adîncimea de la care formulele sale devin aplicabile și anume:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} \quad (3.52)$$

Datorită ușurinței de calcul cu relațiile lui Protodiakonov, acestea sînt foarte des întîlnite în practică, fiind folosite la proiectarea lucrărilor miniere.

Astfel, dacă se consideră că într-o rocă cu $\gamma a = 2,2 \cdot 10^4 \cdot \text{N/m}^3$ și $f = \operatorname{tg} \varphi = 3,5$ a fost săpată o lucrare minieră cu lățimea $2a = 4,5 \text{ m}$, conform ipotezei lui Protodiakonov, presiunea maximă se determină cu relația:

$$P_{max} = \frac{4}{3} \frac{\gamma a \cdot a^2}{f} = \frac{4}{3} \cdot \frac{2,2 \cdot 2,2}{3,5} = 0,093 \text{ daN/cm}^2.$$

Înălțimea boltii de echilibru va fi:

$$h = \frac{a}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{2,25}{3,5} = 0,64 \text{ m.}$$

H. La b a s s e pornește de la considerentul că în rocile înconjurătoare lucrărilor miniere se formează trei zone:

— zona tensiunilor reduse, în care rocile datorită tensiunilor de pe contur se găsesc în stare plastică sau clastică;

— zona tensiunilor mărite;

— zona în care tensiunile se apropie de valoarea tensiunilor din masiv.

Pentru stabilirea presiunii care acționează asupra susținerii sau reacțiunea susținerii, în cazul când lucrarea minieră este săpată în roci elastice lipsite de coeziune, Labasse pornește de la ecuația (3.18), de unde determină:

$$p = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1} - \frac{3}{2} \frac{\gamma a \cdot a}{j-2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] \cdot \cos \omega \quad (3.53)$$

Dacă se analizează în mod separat fiecare termen al expresiei, notind:

$$p = P_{iA} + P_{iB}$$

unde:

$$P_{iA} = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1} \text{ și } P_{iB} = - \frac{3}{2} \frac{\gamma a \cdot a}{j-2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] \cos \omega \quad (3.54)$$

se vor putea desprinde o serie de concluzii și anume:

Prima expresie, adică P_{iA} , reprezintă mărimea tensiunilor radiale necesare pentru neutralizarea tensiunilor orizontale ale roci și stabilirea echilibrului la limita zonei elastice. Ea nu depinde de unghiul ω , având aceeași valoare de jur-împrejurul lucrării (fig. XVI.76).

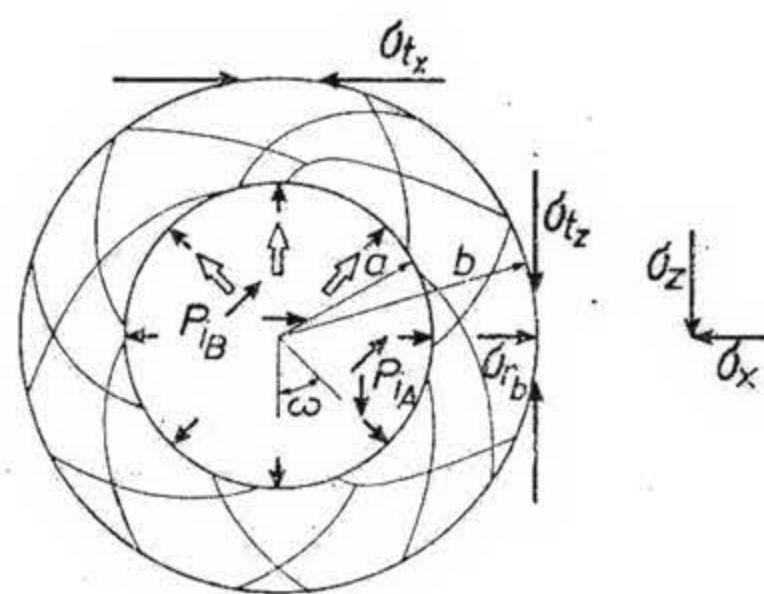


Fig. XVI.76. Modul de manifestare a presiunilor pe conturul lucrării orizontale circulare (după ipoteza lui Labasse).

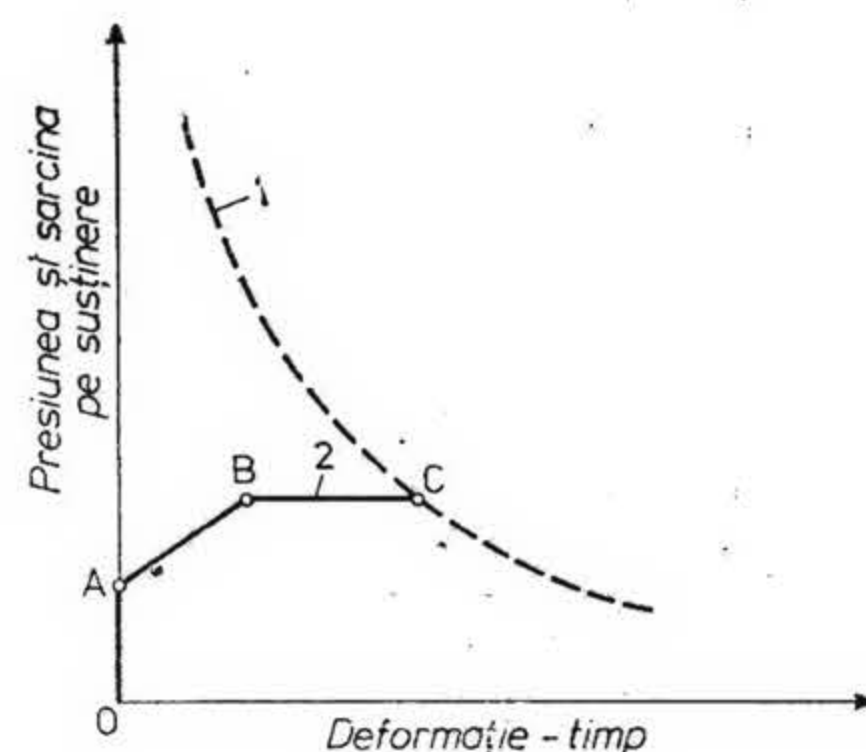


Fig. XVI.77. Interacțiunea dintre rocă și susținere după ipoteza lui Labasse: 1 — curba de relaxare a rocilor, respectiv curba de variație a presiunii în timp; 2 — curba caracteristică a susținerii; OA — sarcina de pretensionare; AB — deformația simultană a rocii și a susținerii; BC — prin depășirea portanței susținerii, aceasta cedează; C — starea de echilibru dintre rocă și susținere.

Expresia următoare P_{iB} definește valoarea presiunilor verticale, care variază în funcție de ω . Se observă că această valoare devine maximă pentru $\omega = 180^\circ$ (unghiul se măsoară în sens invers acelor ceasornicului, pornind de la axa verticală orientată în jos).

Se constată că presiunea maximă va lua naștere la partea superioară (tavanul lucrării), descrescând în mod corespunzător, astfel încât se va ajunge ca la extremitățile diametrului orizontal $\omega = 90^\circ$ sau 270° aceasta să fie egală cu zero.

Pentru cazul când $b = a$, adică nu s-a produs nici o forfecare, iar limita zonei elastice coincide cu perimetrul orificiului, se observă că $P_B = 0$. În acest caz, asupra lucrării miniere nu vor mai acționa decât tensiunile radiale. Tot de aici se trage concluzia că presiunile verticale sînt date de greutatea rocii care se găsește în interiorul zonei elastice (zona sfărîmată), aceste presiuni fiind cu atît mai mari cu cît raza zonei elastice este mai mare.

Situația analizată ne arată că după săparea lucrării miniere roca se poate găsi într-o stare elastică — cînd nu se formează zona de rocă sfărîmată, sau într-o stare elasto-elastică — cînd are loc formarea acestei zone.

În concepția lui Labasse, mecanismul interacțiunii dintre susținere și rocile încojurătoare — pentru cazul unei susțineri cu portanță controlată — este redat în fig. XVI.77.

Se constată, din această figură, că mărimea presiunii este influențată în mod direct de reacțiunea susținerii, de modul ei de comportare, de timpul scurs între procesul de săpare și cel de susținere etc.

Un caz frecvent întîlnit în subteran este acela cînd lucrarea minieră se sapă în argile saturate sau parțial saturate cu apă.

Argilele saturate sînt, în general, argile care nu au frecare interioară ($\varphi = 0$). Aceste argile, chiar după supunerea lor la forfecare, mai posedă o coeziune de pînă la $0,5 \text{ daN/cm}^2$, cedînd lent — asemănător cu un lichid viscos — sub acțiunea presiunii.

Cînd argilele nu sînt complet saturate, acestea mai posedă pe lîngă coeziune și frecare interioară.

Pentru studiul presiunii verticale, care acționează asupra tavanului unei lucrări miniere circulare executate în astfel de roci, Caquot și Kerisel au stabilit următoarea ecuație:

$$P_{iv} = \frac{\gamma a \cdot H}{j-2} \left[\frac{a}{H} - \left(\frac{a}{H} \right)^{j-2} \right] - T \left[1 - \left(\frac{a}{H} \right)^{j-1} \right] \quad (3.55)$$

în care: $T = c \cdot \text{ctg } \varphi$ și se determină din *cercul lui Mohr*.

Această ecuație prezintă două discontinuități și anume:

— pentru $\varphi = 20^\circ$; $j - 2 = 0$. Ca atare, valoarea primului termen al ecuației este nedeterminată și ecuația devine:

$$P_{iv} = a \cdot \gamma a \cdot 2,3 \cdot \log \frac{H}{a} - T \left[1 - \left(\frac{a}{H} \right)^{j-1} \right]; \quad (3.56)$$

— pentru $\varphi = 0^\circ$; $j - 1 = 0$. Ca atare, termenul al doilea este nedeterminat și ecuația devine:

$$P_{iv} = a \cdot \gamma a \left[\frac{H}{a} - 1 \right] - 4,6 \cdot c \cdot \lg \frac{H}{a} \quad (3.57)$$

Pentru o interpretare corectă a relațiilor stabilite, în continuare se prezintă cîteva cazuri tipice.

Lucrare minieră săpată la adâncime mică în roci clastice. Dacă se pune problema determinării tensiunilor și mărimii presiunilor în jurul unei lucrări miniere orizontale cu secțiune circulară, săpată într-o rocă granulară lipsită de coeziune, pentru care se consideră că $\sigma_z > \sigma_x$ în următoarele condiții:

- greutatea specifică aparentă a rocilor $\gamma = 1,6 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$;
- raza lucrării $a = 150 \text{ cm}$;
- raza zonei clastice $b = 300 \text{ cm}$;
- adâncimea la care este amplasată lucrarea minieră $H = 3000 \text{ cm}$;
- unghiul de frecare interioară a rocilor $\varphi = 37^\circ$, se obține:

$$j = 4; j - 1 = 3; j - 2 = 2; i = \frac{1}{4} = 0,25;$$

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = 0,0016 \cdot 3000 = 4,8 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_x = \sigma_y = i \cdot \sigma_z = \frac{1}{4} \cdot 4,8 = 1,2 \text{ daN/cm}^2.$$

În limita zonei clastice, la capetele celor două diametre, tensiunile se calculează cu relațiile:

$$\sigma_{tz} = 3\sigma_z - \sigma_x = 3 \cdot 4,8 - 1,2 = 13,2 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_{tx} = 3\sigma_x - \sigma_z = 3 \cdot 1,2 - 4,8 = -1,2 \text{ daN/cm}^2;$$

Valoarea tensiunii tangențiale $\sigma_{tx} = -1,2 \text{ daN/cm}^2$ reprezintă tensiuni de întindere. Datorită faptului că în rocile clastice, unde $c = 0$, nu pot exista tensiuni de întindere, tensiunile vor avea valoarea:

$$\sigma_{tx} = i \cdot \sigma_z = 1,2 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea verticală pe susținere se datorește în parte tensiunii radiale necesare pentru oprirea expansiunii zonei clastice, precum și greutății rocii din zona clastică. Astfel se va determina:

$$P_{iAv} = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^3;$$

$$\sigma_{rb} = \sigma_{tx} \frac{1}{2} (1 - \sin \varphi) = 1,2 \cdot 0,2 = 0,24 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{iAv} = 0,24 \cdot 0,25 = 0,03 \text{ daN/cm}^2.$$

Aceasta este mărimea presiunii pe susținere, necesară pentru limitarea zonei clastice.

Presiunea verticală asupra susținerii, necesară pentru stabilizarea rocii în zona sfărâmată, datorită greutății acesteia va fi:

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma_a \cdot a}{j - 2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,0016 \cdot 150}{2} \left[1 - \left(\frac{150}{300} \right)^2 \right] =$$

$$= 0,18 \cdot 0,75 = 0,135 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea totală asupra susținerii la cheia bolții va fi:

$$P_{iv} = P_{iAv} + P_{iBv} = 0,03 + 0,135 = 0,165 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea orizontală la extremitățile diametrului orizontal va fi:

$$P_{iAh} = \sigma_{rBh} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1};$$

$$\sigma_{rBh} = \sigma_{tz} \cdot \frac{1}{2} (1 - \sin \varphi) = 13,2 \cdot \frac{1}{5} = 2,65 \text{ daN/cm}^2;$$

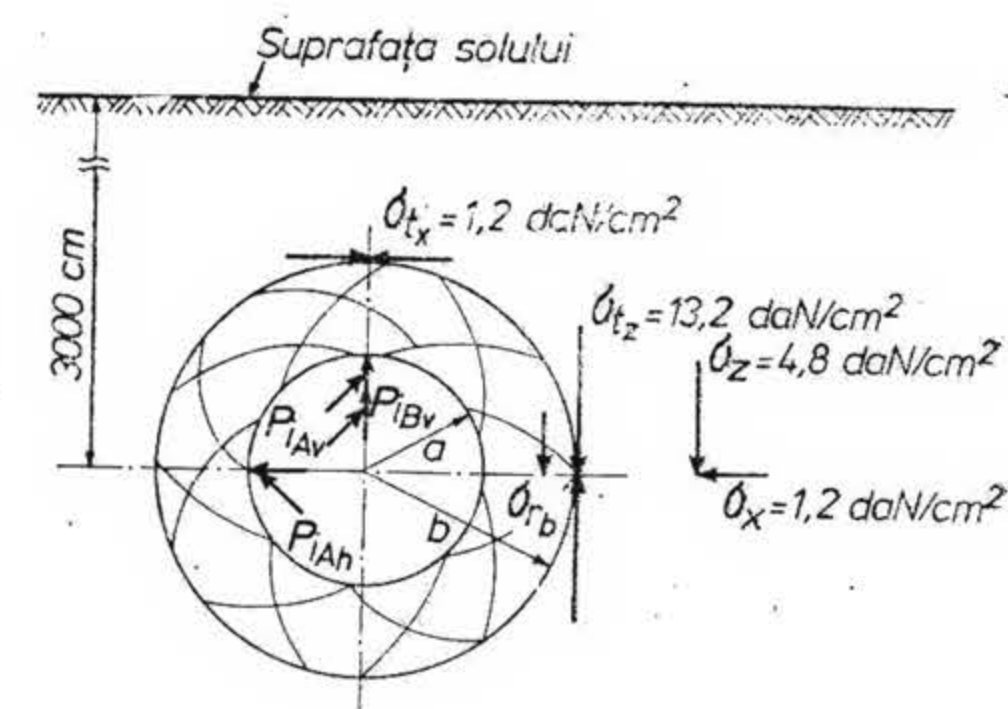
$$P_{iAh} = 2,65 \cdot 0,125 = 0,33 \text{ daN/cm}^2.$$

Modul de acționare a tensiunilor și presiunilor pentru exemplul studiat este redat în fig. XVI.78.

În cazul studiat anterior, s-a presupus că zona clastică se extinde numai până la o distanță oarecare b de la centrul lucrării. Când adâncimea la care se sapă lucrarea minieră este foarte mică, este posibil ca zona clastică să se extindă până la suprafață. În acest caz, folosind datele anterioare, se va determina pentru $b = 3000 \text{ cm}$:

$$\frac{a}{b} = \frac{150}{3000} = \frac{1}{20}$$

Fig. XVI.78. Mărimea tensiunilor și a presiunilor în jurul unei lucrări miniere circulare.



și deci:

$$P_{iAh} = \sigma_{rBh} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1} = 2,65 \left(\frac{1}{20} \right)^3 = 0,000332 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în acest caz, presiunea orizontală asupra susținerii este neglijabilă.

Și în acest caz, presiunea verticală asupra susținerii se compune din $P_{iAv} + P_{iBv}$. Când zona clastică se extinde până la suprafață și lateral, pe o distanță considerabilă, presiunea verticală P_{iAv} devine atât de mică încât ea poate fi neglijabilă. În consecință, presiunea verticală care va acționa asupra susținerii va fi dată numai de parte a doua a ecuației și anume:

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \frac{\gamma_a \cdot a}{j-2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,0016 \cdot 150}{2} \left[1 - \left(\frac{1}{20} \right)^2 \right] = 0,1795 \text{ daN/cm}^2.$$

Presupunând, deci, că zona clastică se va extinde până la suprafață, presiunea verticală asupra susținerii se va apropia de valoarea limită minimă de $0,18 \text{ daN/cm}^2$, indiferent de adâncimea lucrării față de suprafață. Pentru cazul când $\frac{b}{a} > 3$, termenul

$\left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right]$ poate fi neglijat și atunci ecuația devine:

$$P_v = \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}$$

Această mărime reprezintă presiunea la cheia bolții, presiune care descrește pe măsura apropierei de capetele diametrului orizontal.

Până în prezent problema a fost studiată pentru cazul când roca nu posedă nici un fel de coeziune. În cazul în care roca mai posedă o oarecare coeziune—caz care se întâlnește mai frecvent—atunci tensiunea tangențială se reduce ca valoare, iar tensiunea radială necesară pentru echilibru se va reduce și ea în mod proporțional.

Dacă se presupune că roca mai posedă o coeziune de $0,244 \text{ daN/cm}^2$, ceea ce corespunde (pentru $\varphi = 37^\circ$) unei rezistențe de rupere la compresiune de:

$$Q = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} = 2 \cdot 0,244 \frac{0,8}{1 - 0,6} = 0,88 \text{ daN/cm}^2.$$

considerând condiții similare ca și în cazul anterior unde $\sigma_{tz} = 13,22 \text{ daN/cm}^2$, rezultă:

$$\sigma_{rb} = (\sigma_t - Q) \frac{1}{2} (1 - \sin \varphi) = (13,2 - 0,88) \cdot 0,2 = 2,46 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că tensiunea radială se reduce de la $2,65 \text{ daN/cm}^2$ la $2,46 \text{ daN/cm}^2$, ceea ce reduce mărimea presiunii cu circa 7%, reducere care este foarte mică.

Din datele problemei anterioare rezultă că lucrarea minieră este stabilă fără a necesita nici un fel de susținere, dacă roca are o rezistență de minimum $13,2 \text{ daN/cm}^2$. Această condiție este îndeplinită de argilele dure, șisturi etc.

Lucrare minieră săpată la adâncime mare, în roci rezistente cu coeziune mare. Până în prezent a fost studiată și determinată mărimea presiunii asupra susținerii în cazul unor lucrări miniere situate la adâncime mică, în roci sedimentare lipsite total de coeziune sau cu coeziune mică. Concluzia la care s-a ajuns a fost că, pentru adâncimi mici, dacă roca îndeplinește anumite condiții de rezistență, lucrarea minieră nu trebuie să fie prevăzută

cu o susținere de rezistență. La adâncimi mari față de suprafață apar roci a căror rezistență la compresiune depășește valoarea de $1000 - 1500 \text{ daN/cm}^2$, caz în care se poate considera că aceste roci au o comportare elastică. În acest caz tensiunile tangențiale de compresiune la marginile orificiului circular ating valori de $(2-3)\sigma_z$. Este evident că forfecarea rocii va avea loc pentru cazul în care tensiunile tangențiale depășesc rezistența de rupere la compresiune a rocii, adică:

$$3\sigma_z > Q.$$

Pentru o rocă care are o rezistență de rupere la compresiune de 900 daN/cm^2 , rezistența rocii va fi depășită când $\sigma_z > 300 \text{ daN/cm}^2$.

Considerând o greutate specifică aparentă de $0,0017 \text{ daN/cm}^3$, tensiunea tangențială creată la marginea lucrării circulare va întrece rezistența rocii când lucrarea minieră

se va afla la o adâncime egală sau mai mare de: $H \geq \frac{\sigma_z}{\gamma_a} = \frac{300}{0,0017} = 1764 \text{ m}.$

Pentru a putea determina mărimea presiunii, se consideră o lucrare minieră circulară amplasată la o adâncime de 1800 m în rocă masivă, cu următoarele caracteristici:

— rezistența de rupere la compresiune $Q = 700 \text{ daN/cm}^2$;

— unghiul de frecare interioară $\varphi = 55^\circ$; și $\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = j = 10$;

— celelalte date sînt identice cu cele din exemplul precedent.

În momentul ruperii, pentru cazul când roca este supusă la compresiune triaxială, se folosește relația:

$$\sigma_1 = Q + j\sigma_3.$$

În acest caz:

$$\sigma_z = 1800 \cdot 1,7 = 306 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_t = 3\sigma_z = 3 \cdot 306 = 918 \text{ daN/cm}^2.$$

La limita zonei elasto-clastice se poate scrie relația de echilibru:

$$\sigma_{rb} = \frac{\sigma_{te}}{2} (1 - \sin \varphi) = \frac{\sigma_{te}}{2} (1 - 0,82) = 0,09 \cdot \sigma_{te}.$$

Dar σ_{te} reprezintă numai o parte a tensiunii tangențiale, limită care întrece rezistența rocii:

$$\sigma_{te} = \sigma_t - Q = 918 - 700 = 218 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_{rb} = 0,09 \sigma_{te} = 0,09 \cdot 218 = 19,62 \text{ daN/cm}^2.$$

Aceasta arată că prin aplicarea pe conturul lucrării a unei reacțiuni de $19,62 \text{ daN/cm}^2$ poate fi prevenit fenomenul de forfecare a rocilor. Cu toate acestea nu se poate recurge la montarea unei susțineri care să reziste la $19,62 \text{ daN/cm}^2$, chiar dacă ea ar putea fi montată destul de repede pentru a preveni forfecarea. În consecință, dacă se va monta o susținere capabilă să reziste la o tensiune de $0,5 \text{ daN/cm}^2$, forfecarea se va extinde repede până la distanțe;

$$P_{iAv} = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1}$$

sau :

$$P_{iAv} = 19,62 \left(\frac{a}{b} \right)^9 = 0,5 \text{ daN/cm}^2; \text{ de aici } b = 1,5 a$$

Cu alte cuvinte, forfecarea se va extinde până la o distanță de $0,5 a$ de la margine, ceea ce echivalează cu circa 73 cm, distanță care este capabilă să reducă presiunea asupra susținerii la valori acceptabile. Această presiune, de $0,5 \text{ daN/cm}^2$, va fi exercitată în partea superioară a susținerii, datorită greutateii rocilor din zona clastică.

Valoarea presiunii în vârful bolții va fi :

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma a a}{j-2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,0016 \cdot 150}{8} \left[1 - \left(\frac{1}{1,5} \right)^8 \right] \cong 0,046 \text{ daN/cm}^2$$

Presiunea verticală totală va fi :

$$P_b = 0,5 + 0,046 = 0,546 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, susținerea va avea rol de portantă, limitând extinderea zonei de forfecare, fenomen ce poate fi ilustrat grafic (fig. XVI.79, a).

Presiunea asupra susținerii poate fi mult redusă, dacă se permite o relaxare mai accentuată a rocii, adică o extindere a zonei sfărâmate pe o distanță mai mare. Aceasta

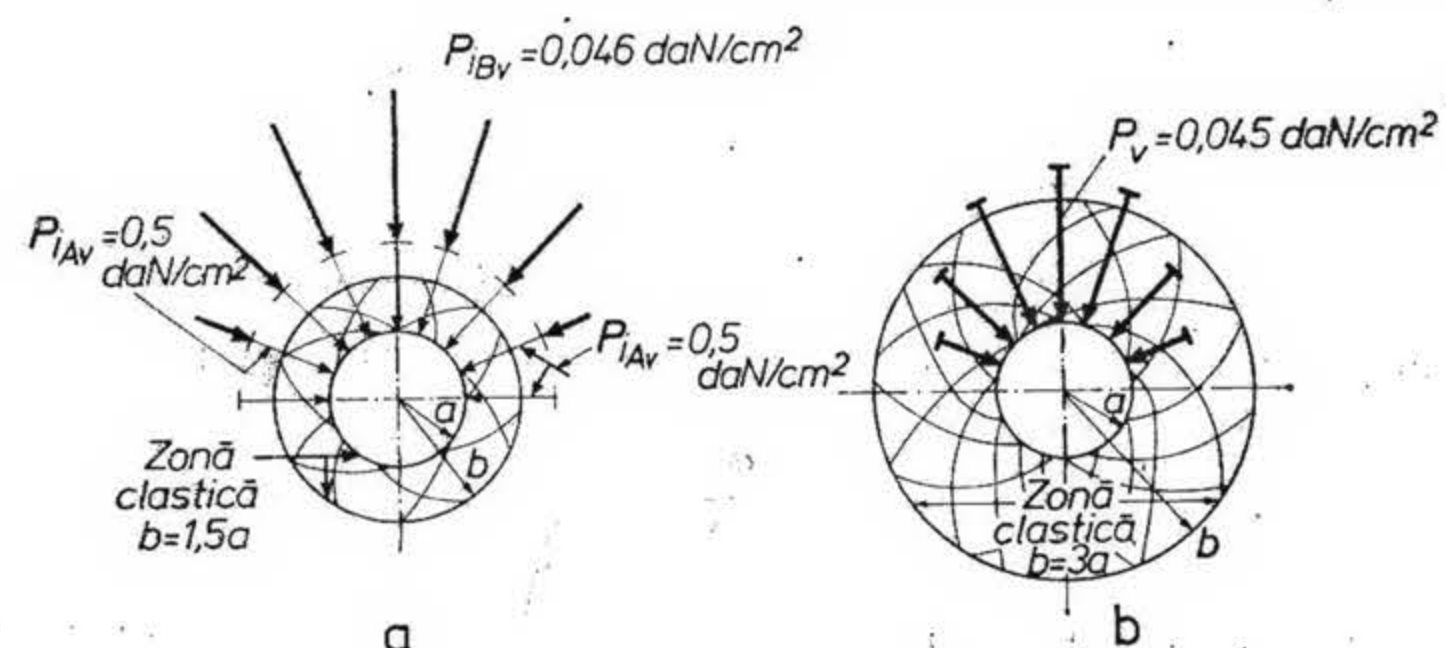


Fig. XVI.79. Mărimile presiunilor în jurul unei lucrări miniere circulare :

a — cînd $b=1,5a$; b — cînd $b=3a$.

presupune montarea unei susțineri care să lucreze la început elastic, iar după o perioadă de timp, rigid. Așa, de exemplu, pentru $b = 3a$ rezultă :

$$P_{iAv} = 19,62 \left(\frac{150}{450} \right)^9 = 0,0011 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,0016 \cdot 150}{8} \cdot 1 = 0,044 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, presiunea totală va fi :

$$P_v = 0,0011 + 0,044 = 0,0451 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în cazul cînd zona sfărîmată s-a extins de la $b = 1,5 a$ la $b = 3a$ presiunea a scăzut de la $0,546 \text{ daN/cm}^2$ la $0,0451 \text{ daN/cm}^2$, fenomen ilustrat în fig. XVI.79, b.

În exemplul precedent a fost analizată posibilitatea extinderii zonei clasice, cu scopul de a reduce presiunea pe susținere.

Din același exemplu s-a constatat că formarea zonei sfărîmate nu poate fi total evitată. În concordanță cu același exemplu, s-ar părea că pentru obținerea unei presiuni minime asupra susținerii este necesar ca zona clastică să se extindă la maxim. Obținînd în acest caz o presiune minimă, se va putea monta o susținere cu o portantă scăzută și deci cu costuri reduse. Dar, în același timp, cantitatea de rocă excavată din lucrare — pentru a obține în final o lucrare minieră cu dimensiuni dinainte stabilite — va crește foarte mult, datorită afinării rocilor din zona clastică, avînd drept consecință creșterea costului de săpare a lucrării.

În consecință, pentru a avea o lucrare minieră cu dimensiuni dinainte stabilite, după ce rocile s-au stabilizat, excavarea inițială se va face la dimensiuni ceva mai mari decît dimensiunea finală. Corelația dintre costul de săpare și cel de susținere, în condițiile cele mai economice, poate fi determinată prin calcule.

Reducerea diametrului unei lucrări circulare în scopul micșorării presiunii pînă la valori admisibile se determină astfel (fig. XVI.80) :

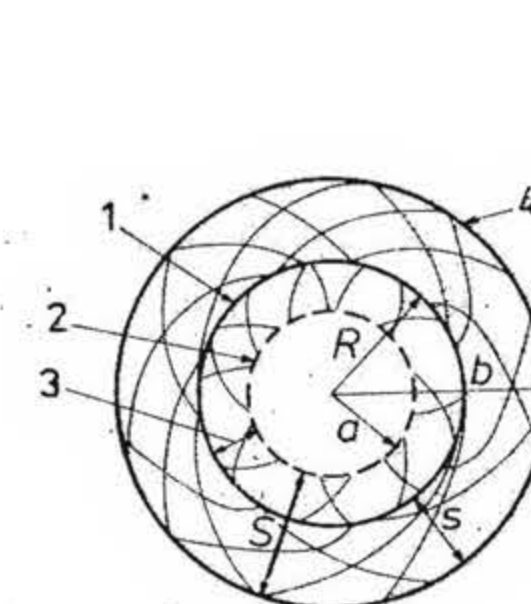


Fig. XVI.80. Micșorarea diametrului lucrării miniere circulare prin creșterea zonei sfărîmate :

1 — diametrul inițial al lucrării; 2 — diametrul final după stabilizare; 3 — reducerea secțiunii după stabilizare; 4 — zona elastică după stabilizare.

Pentru o lungime de 1 m pe direcție rezultă :

$$V_b = b^2;$$

$$V_s = (b^2 - R^2).$$

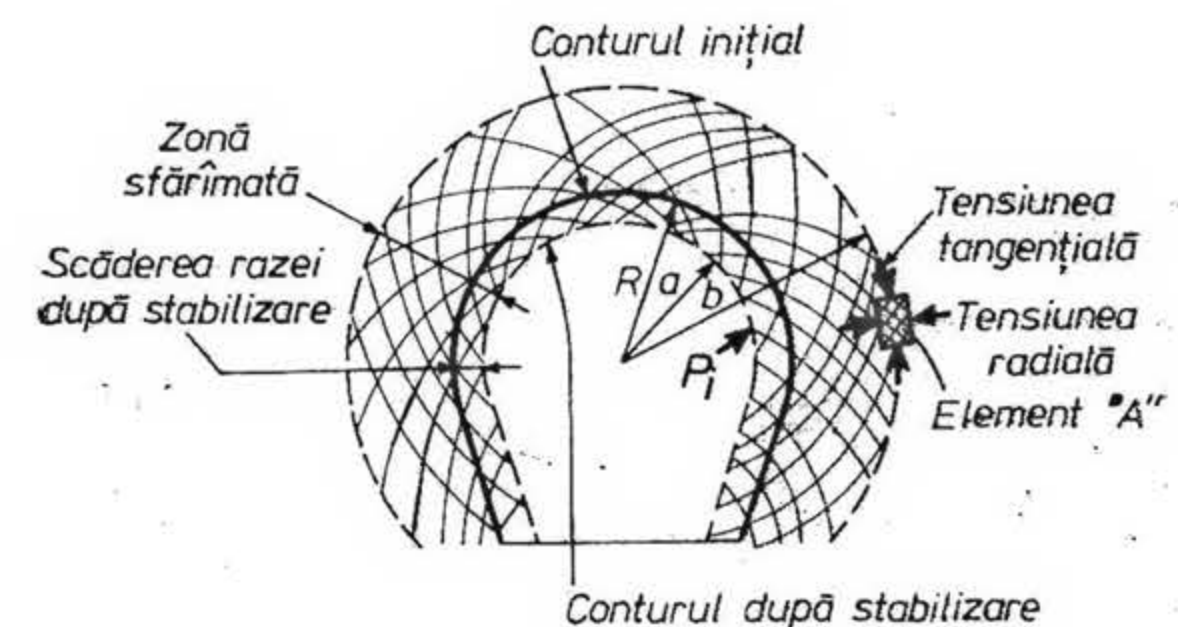


Fig. XVI.81. Formarea zonei de tensiuni reduse cînd lucrarea minieră este susținută cu o susținere elastică :

R — raza inițială; a — raza finală; b — raza zonei sfărîmate; p_i — secțiunea susținerii.

Prin sfărîmarea rocii din zona elastică (coroana circulară a), aceasta își va mări volumul :

$$V_s = (b^2 - R^2) K,$$

$$a^2 = V_a = V_b - V_s = b^2 - K(b^2 - R^2) = b^2 - K(b^2 - R^2)$$

$$a^2 = \frac{V_a}{\pi^2} = b^2 - K(b^2 - R^2)$$

Pentru un coeficient de afinare $K = 1,1$ și pentru datele problemei precedente, în care zona elastică a fost lăsată să se extindă pînă la distanță de $1,5 a$ de la centru, expansiune care a permis reducerea presiunii pînă la $0,5 \text{ daN/cm}^2$, raza inițială fiind de 150 cm , se pune problema determinării razei (a) după stabilizare, cît și a volumului de rocă care trebuie excavat în plus. În acest caz :

$$a^2 = b^2 - K(b^2 - R^2) = 2,25^2 - 1,1(2,25^2 - 1,50^2) = 2;$$

$$a = \sqrt{2} \approx 1,42;$$

$$R - a = 1,50 - 1,42 = 0,08 \text{ m} = 8 \text{ cm}.$$

Deci, după stabilizarea rocilor, diametrul a scăzut de la 3 m la $2,84 \text{ m}$, ceea ce nu va incomoda nici transportul de personal și nici pe cel de material prin lucrarea minieră. În acest caz, volumul de rocă ce va fi excavat în plus va fi de :

$$V' = V_s' - V_s = \pi(b^2 - R^2)((K - 1) = 3,14(2,25^2 - 1,5^2)(1,1 - 1) = 0,92 \text{ m}^3.$$

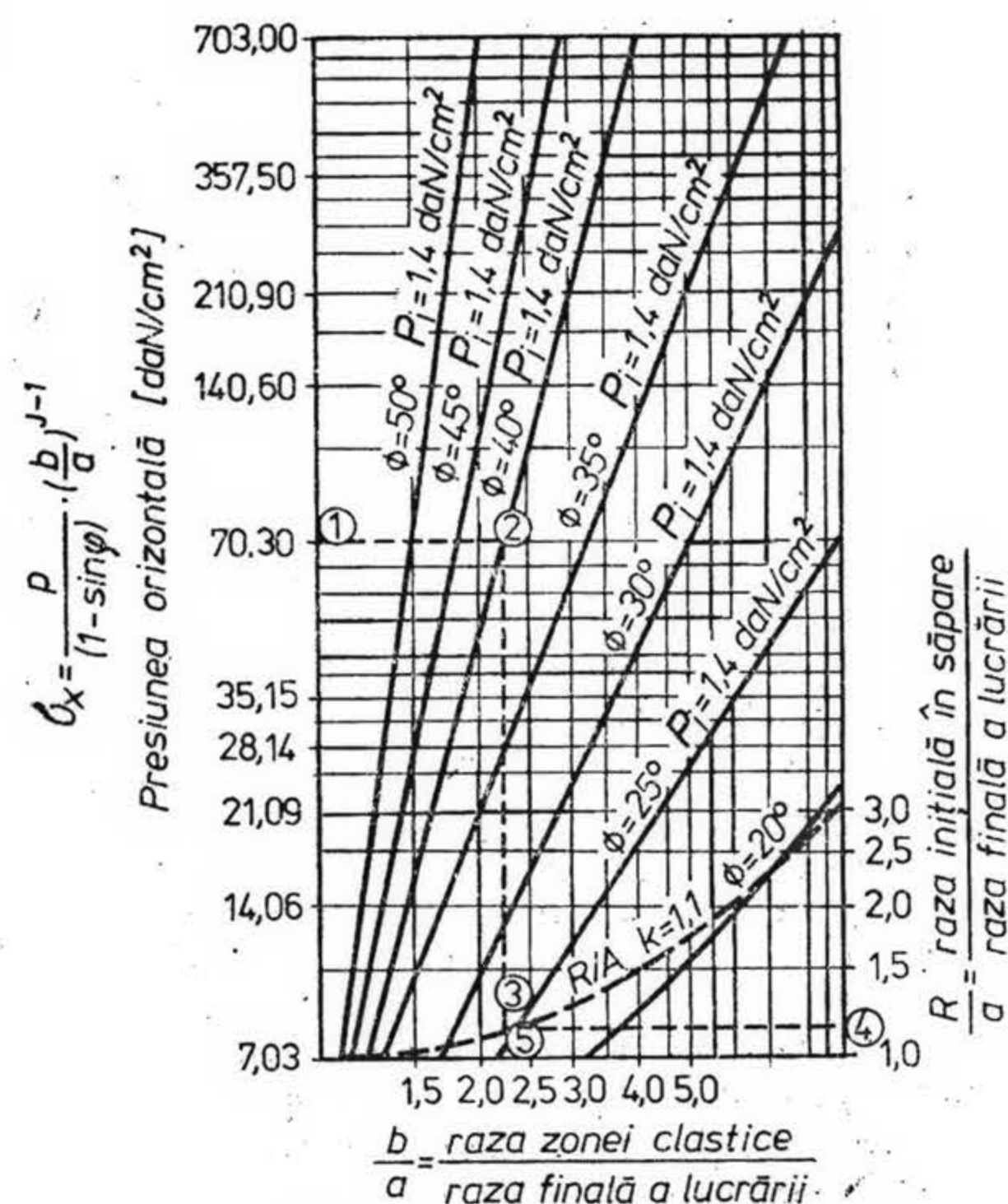
Dacă zona elastică ar fi lăsată să se extindă pînă la $b = 3 a$, pentru a reduce și mai mult presiunea pe susținere — presiunea calculată în exemplul precedent — s-ar produce o reducere a diametrului de la 3 m la $1,62 \text{ m}$, cu un volum de rocă excavată în plus de $5,8 \text{ m}^3$, reprezentînd circa 80% față de volumul inițial, caz în care lucrarea minieră nu ar mai corespunde cerințelor impuse de faza inițială. În conecință, soluția practică ar consta în montarea unei susțineri cu o portanță suficient de mare care să producă o stabilizare a rocilor, după ce zona elastică s-a extins pe o distanță pînă la $1,5 a$ de centrul orificiului.

Pentru a putea generaliza problema pusă în discuție, respectiv pentru a putea determina cu rapiditate dimensiunile de săpare ale unei lucrări miniere cînd aceasta este susținută cu o susținere elastică, astfel încît după stabilizare să se obțină dimensiunile dinainte stabilite, se consideră o lucrare minieră susținută cu o susținere elastică (fig. XVI. 81).

Dacă se consideră un element A , care se găsește în afara zonei sfărîmate, se poate scrie condiția de echilibru a acestui element, condiție care exprimă relația dintre diametrul lucrării, unghiul de frecare interioară a rocilor în care se sapă lucrarea și raza zonei sfărîmate. Pentru ușurință, această corelație este redată sub forma unei diagrame (fig. XVI. 82).

Pentru exemplificare, se presupune că lucrarea minieră este săpată la o adîncime de 440 m , într-o rocă care are unghiul de frecare interioară de 40° . La această adîncime se creează o presiune orizontală de $70,3 \text{ daN/cm}^2$, punctul 1. De la acest punct se duce o orizontală pînă se întâlnește dreapta care reprezintă unghiul de frecare interioară de 40° — punctul 2. De aici se duce o verticală pînă la intersecția acesteia cu curba R/A , obținîndu-se punctul 3. Din acest punct, pe orizontală se obține punctul 4, pentru care raportul $R/a = 1,15$. Deci raza lucrării miniere în săpare trebuie să fie de $1,15$ ori mai mare decît raza proiectată a lucrării, pentru a permite o corectă interacțiune între rocă și susținerea

Fig. XVI.82. Corelația dintre diametrul lucrării, unghiul de frecare interioară și raza zonei sfărîmate.



elastică. Astfel, dacă raza finală a lucrării trebuie să fie de 150 cm , adică să aibă un diametru de 300 cm , diametrul inițial în săpare trebuie să fie de $300 : 1,15 = 345 \text{ cm}$, caz în care se va realiza un echilibru perfect între rocă și susținerea elastică. Graficul din fig. XVI.82 a fost întocmit în ipoteza că susținerea elastică va opune o reacțiune de $1,4 \text{ daN/cm}^2$. Dacă din punctul 3 se continuă verticala în jos, se va obține raportul dintre raza zonei elastice și raza lucrării miniere.

Lucrare minieră săpată la adîncime mică, în

argile. Se consideră că o lucrare minieră circulară — tunel — a fost săpată într-un șist argilos cu $\sigma_a = 0,00176 \text{ daN/cm}^3$; $c = 0,68 \text{ daN/cm}^2$ și $\phi = 20^\circ$. Adîncimea față de suprafață a fost de $H = 36,6 \text{ m}$, iar raza lucrării $a = 5,5 \text{ m}$.

Pentru $\phi = 20^\circ$; $j = 2$; $j - 2 = 0$ se obține :

$$P_i = a \cdot \gamma_a \cdot 2,3 \log \frac{H}{a} - T \left[1 - \left(\frac{a}{H} \right)^{j-1} \right] \approx 0,23 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru cazul cînd lucrarea minieră este săpată în argile saturate, caz pentru care $\phi = 0$, și considerînd celelalte date avînd valorile :

$$\gamma_a = 0,0019 \text{ daN/cm}^3; c = 0,1 \text{ daN/cm}^2; H = 2000 \text{ cm}; a = 200 \text{ cm};$$

$$\text{se obține : } p_i = a \cdot \gamma_a \left[\frac{H}{a} - 1 \right] - 4,6 c \lg \frac{H}{a} \approx 3 \text{ daN/cm}^2.$$

Exactitatea rezultatelor obținute depinde de exactitatea determinării parametrilor de stare fizică și mecanică.

Din rezultatele obținute se constată că presiunea asupra susținerii — la tavan — reprezintă circa 80% din valoarea presiunii maxime, presiune care în timp poate atinge chiar valoarea maximă ($\gamma_a \cdot H$).

3.3.1.2. Presiunea laterală

P. M. Țimbarevici presupune că presiunea laterală asupra pereților unei lucrări miniere este suma presiunii active asupra pereților, a prismelor m și a încărcăturii de deasupra acestor prisme. Astfel, dacă se ia o lucrare minieră de formă dreptunghiulară cu lățimea de $2a$ și înălțimea h (fig. XVI. 83), presiunea laterală este dată de presiunea activă a prismelor m care sînt încărcate cu greutatea elementelor parabolice n , rezultînd:

Înălțimea de încărcare a prismelor laterale h_0 :

$$h_0 = \frac{\gamma a_1}{\gamma a} \cdot \frac{a + h \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \varphi}{2}}{\operatorname{tg} \varphi_1} \quad (3.58)$$

Mărimea presiunii laterale:

$$R_b = \frac{\gamma a \cdot h}{2} \cdot \frac{2\gamma a_1}{\gamma a} \cdot \frac{a + h \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \varphi}{2}}{\operatorname{tg} \varphi_1} + h \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2} \quad (3.59)$$

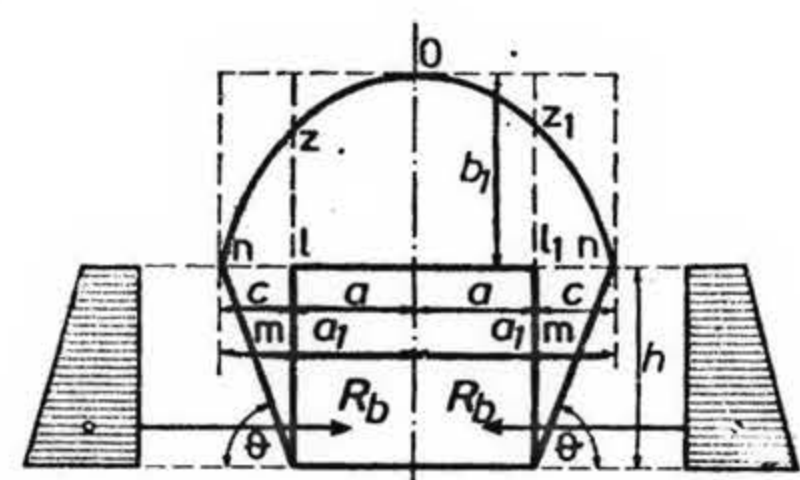


Fig. XVI.83. Schema de calcul a presiunii laterale (după P. M. Țimbarevici)

În practică, presiunile laterale asupra pereților lucrărilor subterane se iau în considerație pentru rocile la care $f = \operatorname{tg} \varphi \leq 2$.

La o rezistență mai mare a rocilor, presiunile laterale care iau naștere în jurul lucrărilor miniere sînt neglijabile.

Astfel, pentru o lucrare minieră care are lățimea $2a = 4,5$ m, și înălțimea $h = 3$ m, avînd în tavan roci cu $\gamma a_1 = 2500$ daN/cm³ și $\varphi_1 = 72^\circ$ și în pereți roci cu $\gamma a = 2300$ daN/cm³ și $\varphi = 64^\circ$, presiunea laterală va fi:

$$h_0 = \frac{2,5}{2,3} \cdot \frac{2,25 + 3,0 \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + 64^\circ}{2}}{\operatorname{tg} 72^\circ} \approx 1,4 \text{ m};$$

$$R_b = \frac{2300 \cdot 3,0}{2} (2 \cdot 1,4 + 3,0) \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - 64^\circ}{2} \approx 1050 \text{ daN/m} = 350 \text{ daN/m}^2$$

3.3.1.3. Presiunea din vatră

P. M. Țimbarevici, acceptînd o schemă de manifestare a presiunii ca în fig. XVI. 84, stabilește:

— adîncimea pînă la care se manifestă fenomenul de mișcare a rocilor:

$$x_0 = \frac{H_1 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)} \quad (3.60)$$

— diferența dintre presiunea activă și pasivă:

$$D_0 = R_0 - Q_0 = \frac{1}{2} \gamma a \left[(x_0^2 + 2x_0 H_1) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - x_0^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right]$$

Valoarea presiunii din vatră (N) este dată de relația:

$$N = D \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

Astfel, pentru o lucrare cu înălțimea $H = 2,5$ m și cu lățimea $2a = 3,5$ m, săpată într-o argilă umedă cu $\varphi = 25^\circ$ și $\gamma a = 2000$ daN/m³, se poate determina:

— înălțimea bolții parabolice:

$$b = \frac{1,75 + 2,50 \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + 25^\circ}{2}}{\operatorname{tg} 25^\circ} \approx 7,2 \text{ m};$$

$$H_1 = H + b = 2,5 + 7,2 = 9,7 \text{ m}$$

— adîncimea pînă la care se manifestă fenomenul de mișcare a rocilor este:

$$x_0 = \frac{9,7 \operatorname{tg}^4 \frac{90^\circ - 25^\circ}{2}}{1 - \operatorname{tg}^4 \frac{90^\circ - 25^\circ}{2}} \approx 1,9 \text{ m}$$

$$D_0 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (1,9^2 + 2 \cdot 1,9 \cdot 9,7) \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - 25^\circ}{2} - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1,9^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ + 25^\circ}{2} = 7700 \text{ daN/m}.$$

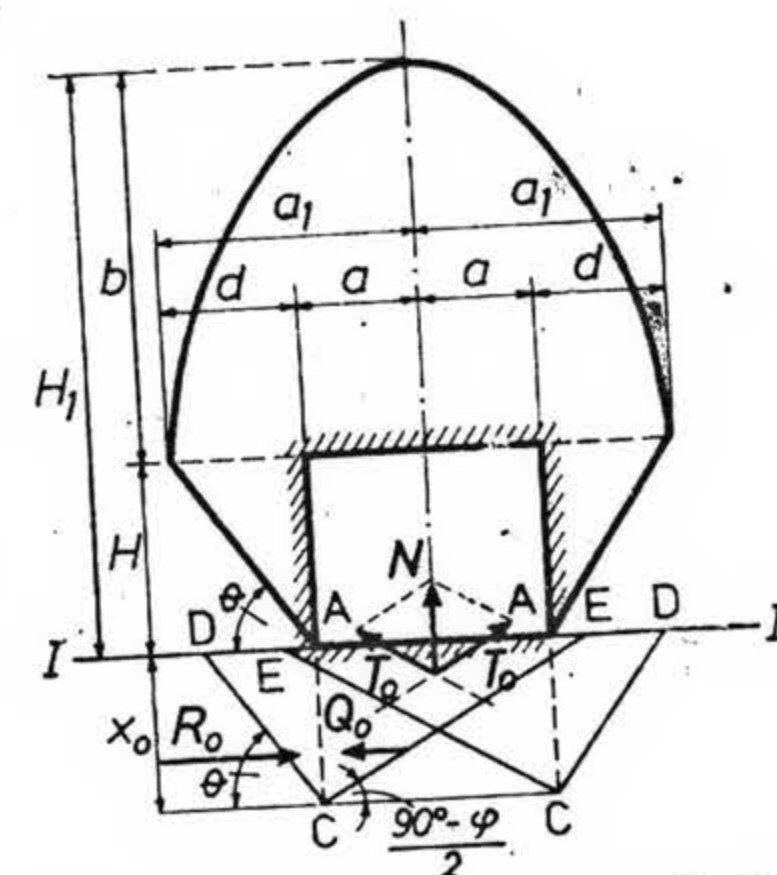


Fig. XVI.84. Schema de calcul a presiunii din vatră la o lucrare minieră cu profil dreptunghiular fără susținere (după P. M. Țimbarevici).

Presiunea din vatra va fi:

$$N = 7700 \operatorname{tg}^2 \frac{(90^\circ - 28^\circ)}{2} = 1400 \text{ daN/m}^2.$$

Fenomenul presiunilor din vatră se manifestă în special la rocile argiloase cu proprietăți de umflare.

3.3.2. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA LUCRĂRILOR MINIERE VERTICALE

Problema determinării presiunii asupra susținerii puțurilor verticale este una dintre cele mai dificile probleme din domeniul minier și care nu a găsit încă o soluționare complet mulțumitoare din punct de vedere teoretic.

Pe parcursul dezvoltării științei miniere, au fost create o serie de ipoteze referitoare la presiunea asupra susținerii puțurilor, ipoteze care pot fi împărțite arbitrar în două grupe distincte:

— interpretarea presiunii rocilor și a naturii ei cu ajutorul unor scheme simplificate (ipoteze aproximative):

— studiul mecanismului interacțiunii dintre rocă și susținere, cunoașterea tensiunilor în rocă și susținere și analiza mișcării rocilor din jurul puțului.

Prima grupă este caracterizată prin aceea că ea consideră presiunea rocilor ca o sarcină statică, de o anumită valoare, pentru preluarea căreia trebuie ales un anumit tip de susținere.

Fritz Mohr înglobează toate ipotezele referitoare la această etapă sub denumirea generală de *ipoteza forțelor*, din cadrul căreia cele mai adecvate pentru lucrările miniere verticale sînt ipotezele care admit lipsa presiunilor în cazul rocilor rezistente, dintre care:

- ipoteza restabilirii tensiunii naturale a masivului de roci;
- ipoteza bolții.

A doua grupă este caracterizată prin *ipoteza deformațiilor*, potrivit căreia presiunea asupra susținerii se dezvoltă și se restabilește în urma unei interacțiuni complexe, care are loc între susținere și rocă. Susținerea în acest sistem ocupă o poziție de echilibrare cu masivul de roci și influențează asupra manifestării presiunilor.

3.3.2.1. Ipoteza forțelor

Ipoteza restabilirii stării de tensiune în jurul puțului. Potrivit acestei grupe de ipoteze, presiunea asupra susținerii puțului corespunde tensiunilor împingerii laterale a masivului de rocă și se exprimă cu relația:

$$P = \lambda \cdot \gamma_a \cdot H$$

în care

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.61)$$

Particularitatea acestei ipoteze o constituie recunoașterea dependenței liniare a presiunii rocilor în funcție de adîncime. Întrucît mărimea coeficientului de împingere late-

în masivul de roci nu se cunoaște, sînt emise diferite păreri. În mod corespunzător sînt emise o serie de considerente și asupra valorii presiunii rocilor asupra susținerii puțului.

Astfel, pornind de la teoria lui Kulon, Protodîkonov consideră că în jurul puțului se formează prisme care se deplasează pe plane de alunecare spre susținerea puțului și care dezvoltă o presiune dată de relația:

$$P = \gamma_a \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (3.62)$$

Dacă puțul străbate strate cu grosimi diferite: h_1, h_2, \dots, h_n , avînd coeficienți de tărie diferiți: f_1, f_2, \dots, f_n , valoarea medie a coeficientului de tărie se va calcula cu relația

$$f_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i f_i}{H} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} f_{med}. \quad (3.63)$$

Dacă se consideră un puț vertical cu adîncimea de 150 m, săpat într-o formațiune de roci omogene cu $f = \operatorname{tg} \varphi = 4$ și $\gamma_a = 3000 \text{ daN/m}^3$, presiunea pe unitatea de suprafață a peretelui puțului este:

$$P = \gamma \cdot H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) =$$

$$= 2000 \cdot 150 \cdot 0,123^2 = 4500 \text{ daN/m}^2.$$

P. M. Timbărevici admite posibilitatea unei analogii directe dintre tensiunile existente în roci și presiunea manifestată asupra susținerii, considerînd că *susținerea rigidă restabilește starea inițială de tensiune a rocilor*. Conform acestei ipoteze se consideră că în fiecare strat se formează prisme de alunecare (fig. XVI.85), care suportă la rîndul lor greutatea coloanei de roci acoperitoare. Formula generală de calcul propusă de Timbărevici este:

$$P = \sum_{i=1}^n \gamma_{ai} \cdot h_i \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\beta}{2} \right). \quad (3.64)$$

$$i = 1, 2, 4, \dots, n.$$

în care β reprezintă unghiul de rezistență interioară a rocilor.

Deoarece, în general, rocile în care se sapă puțul au proprietăți fizice și mecanice diferite, autorul recomandă pentru calculul presiunii pe unitatea de suprafață a peretelui relația:

$$P = \gamma_{an} \left[\frac{\gamma_{a1}}{\gamma_{an}} h_1 + \frac{\gamma_{a2}}{\gamma_{an}} h_2 + \dots + \frac{\gamma_{an+1}}{\gamma_{an}} h_{n-1} + h_n \right] \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\beta}{2} \right) \quad (3.65)$$

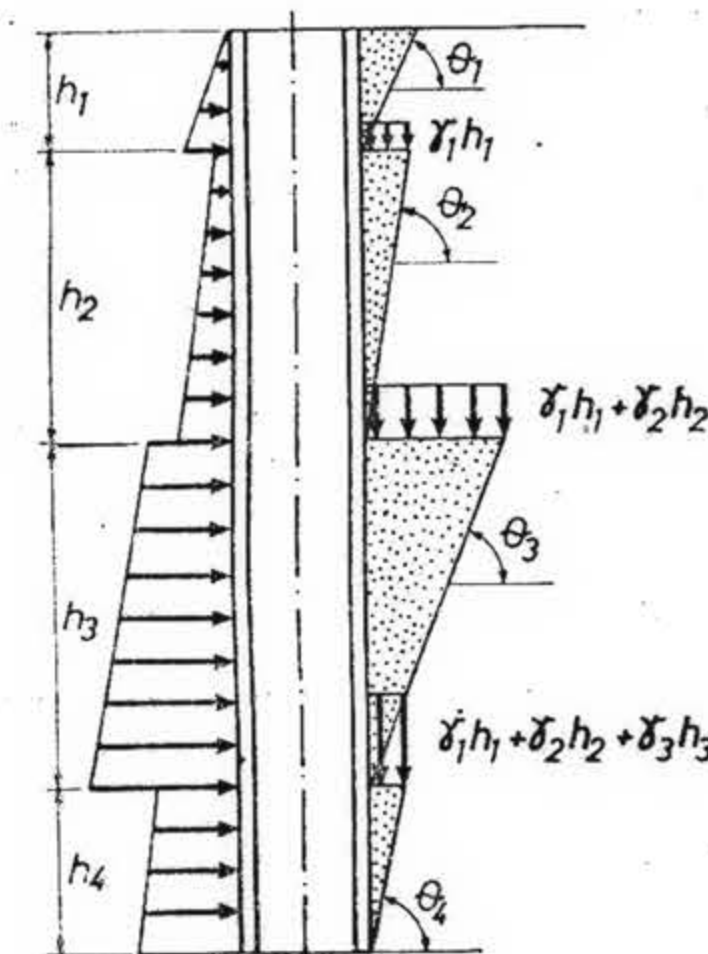


Fig. XVI.85. Schema de calcul a presiunii asupra unei lucrări miniere verticale (după P. M. Timbărevici).

Pentru ușurarea calculelor referitoare la mărimea presiunii, în tabelul XVI. 28 se dau valorile coeficientului împingerii laterale.

Tabelul XVI.28

Valorile coeficientului împingerii laterale $\text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$ în funcție de unghiul de frecare interioară.

Natura rocilor	Caracteristicile rocilor			Coeficientul împingerii laterale $\text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$	
	Rezistența la compresiune [daN/cm ²] σ_c	Volumul porilor [%]	Unghiul de frecare interioară, φ°	Valori limită	Media
Roci acvifere	—	—	0—18°	1,0—0,64	0,76
Roci mobile	—	—	18—26°,34'	0,64—0,5	0,53
Roci f. moi	—	—	26°34'—50°	0,6—0,29	0,39
Roci moi	20—100	40—10	—	0,297—0,031	0,164
Roci de tărie medie	100—400	10—3	—	0,031—0,008	0,017
Roci tari	400—1600	3—0,5	—	0,008—0,002	0,004
Roci foarte tari	1600—2000	0,5—0	—	0,002—0,0007	0,0012

Dacă se consideră că un puț vertical traversează un pachet de strate care de sus în jos au următoarele caracteristici:

- stratul I $h_1 = 20$ m... $\gamma_{a1} = 2000$ daN/m³
- stratul II $h_2 = 10$ m... $\gamma_{a2} = 1600$ daN/m³
- stratul III $h_3 = 10$ m... $\gamma_{a3} = 2000$ daN/m³
- stratul IV $h_4 = 160$ m... $\gamma_{a4} = 2400$ daN/m³,

presiunea pe diferitele tronsoane este:

stratul IV, partea de jos:

$$p'_4 = 2,4 \left(160 + \frac{2,0}{2,4} \cdot 10 + \frac{1,6}{2,4} \cdot 10 + \frac{2,0}{2,4} \cdot 20 \right) \cdot 0,017 = 7,800 \text{ daN/m}^2.$$

partea de sus:

$$p''_4 = 2,4 \left(\frac{2,0}{2,4} \cdot 10 + \frac{1,6}{2,4} \cdot 10 + \frac{2,0}{2,4} \cdot 20 \right) 0,017 = 1,290 \text{ daN/m}^2$$

stratul III, partea de jos:

$$p'_3 = 2,0 \left(10 + \frac{1,6}{2,0} \cdot 10 + \frac{2,0}{2,0} \cdot 20 \right) 0,387 = 29,400 \text{ daN/m}^2$$

partea de sus:

$$p''_3 = 2,0 \left(\frac{1,6}{2,0} \cdot 10 + \frac{2,0}{2,0} \cdot 20 \right) 0,387 = 21,670 \text{ daN/m}^2$$

stratul II, partea de jos:

$$p'_2 = 1,6 \left(10 + \frac{2,0}{1,6} \cdot 20 \right) 0,757 = 42,000 \text{ daN/m}^2;$$

partea de sus:

$$p''_2 = 1,6 \frac{2,0}{1,6} \cdot 20 \cdot 0,757 = 30,000 \text{ daN/m}^2;$$

stratul I, partea de jos:

$$p'_1 = 2,0 \cdot 20 \cdot 0,387 = 15,480 \text{ daN/m}^2.$$

Conform acestor rezultate, poate fi construită epura presiunilor, de unde se observă că stratul II, deși se află mai aproape de suprafață, dezvoltă o presiune cu mult mai mare asupra susținerii decât stratul IV, care se găsește la adâncime mai mare.

K. V. Pavlov a propus o formulă de calcul bazată pe unele experiențe, care au arătat că valoarea presiunii litostatice asupra puțurilor variază în funcție de diametrul

acestuia, direct proporțional cu expresia $\frac{\sqrt[3]{D+1}}{2}$. Presiunea asupra pereților puțului după acest autor este dată de relația:

$$P = \gamma_{an}(h_n + h_0)^3 \cdot \frac{\sqrt[3]{D+1}}{2} \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi^\circ}{2} \right), \quad (3.66)$$

în care: D reprezintă diametrul puțului sau latura cea mai mare a acestuia. Astfel, pentru un puț cu adâncimea de 200 m și diametrul de 6 m, săpat într-o rocă omogenă cu $\varphi = 68^\circ 40'$ și $\gamma_a = 2750$ daN/m³, presiunea va fi:

$$P = \frac{1}{2} \cdot 2,75 \cdot 200 \sqrt[3]{6+1} \cdot \text{tg}^2 \cdot 10^\circ 40' = 18\,380 \text{ daN/m}^2.$$

Mărimea tensiunii radiale, conform ipotezei lui Fenner-Labasse, va fi:

$$\sigma_{rb} = \sigma_t \left(\frac{1}{2} \right) (1 - \sin \varphi) = 2,4 \cdot 0,2 = 0,48 \text{ daN/cm}^2.$$

Presupunind că susținerea cedează suficient pentru a permite zonei sfărimate să se extindă pînă la distanța $b = 1,5 a$ de la centrul puțului, presiunea va fi:

$$p_i = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1} = 0,48 \left(\frac{150}{225} \right)^3 = 0,48 \cdot 0,3 = 0,144 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă susținerea cedează mai mult, permițind înaintarea zonei sfărimate pînă la distanța $b = 2a$, presiunea va fi:

$$p_i = 0,48 \left(\frac{1}{2} \right)^3 = 0,06 \text{ daN/cm}^2.$$

Din calculele efectuate, se constată că presiunea asupra susținerii este cu atît mai mică cu cît raza zonei sfărimate este mai mare, fapt ilustrat în fig. XVI. 88.

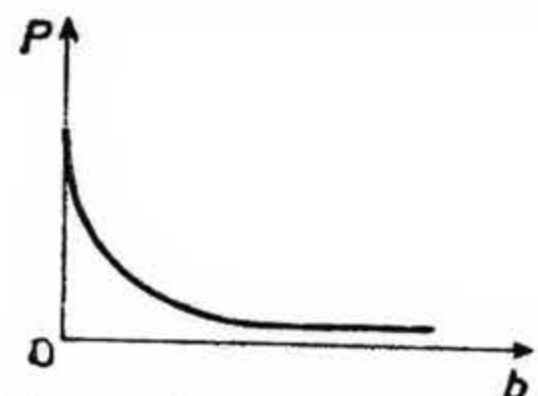


Fig. XVI.88. Variația presiunii în funcție de mărimea fazei sfărimate.

În acest caz, susținerea trebuie să cedeze suficient pentru a permite formarea acestei zone. În condițiile din practică, creșterea razei zonei sfărimate este însoțită de creșterea volumului de rocă care trebuie excavată în plus la săparea puțului. Deci, echilibrul între portanța susținerii și mișcarea rocilor înconjurătoare se stabilește, ca și în cazul lucrărilor miniere orizontale, prin calcule economice.

Puț vertical săpat în rocă coezivă, roca din zona sfărîmată fiind lipsită de coeziune. Dacă se presupune că puțul se sapă într-o rocă coezivă cu $c = 0,244 \text{ daN/cm}^2$, coeziune pe care o poate avea o argilă nisipoasă — celelalte condiții rămînînd identice ca și pentru cazul precedent — datorită tensiunilor tangențiale care depășesc rezistența de rupere la

compresiune a rocii, se produce forfecarea (sfărîmarea), care se extinde pe o distanță oarecare, pînă unde tensiunile radiale sînt suficient de mari pentru a opri procesul de forfecare. Datorită procesului de forfecare, se consideră că în interiorul zonei sfărîmate rocile sînt lipsite total de coeziune.

Rezistența inițială la compresiune a rocilor în care se sapă puțul se determină din relația:

$$Q = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} = 2 \cdot 0,244 \cdot 2 = 0,976 \text{ daN/cm}^2.$$

Ca și în cazul precedent:

$\sigma_t = 2\sigma_x = 2\sigma_y = 2,4 \text{ daN/cm}^2$, tensiuni care întrec cu mult rezistența la compresiune a rocii.

$$\sigma_{rb} = (\sigma_t - Q) \frac{1}{2} (1 - \sin \varphi) = (2,4 - 0,976) \frac{1}{5} = 0,3 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă forfecarea înaintază progresiv pînă la $b = 1,5 a$,

$$p_i = 0,3 \left(\frac{1}{1,5} \right)^3 = 0,087 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru ca roca să se autosustină ($p_i = 0$) este necesar ca aceasta să posedă o rezistență de rupere la compresiune de:

$$Q > \sigma_t = 2,4 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, roca ar trebui să posedă o coeziune:

$$c = \frac{Q}{2} \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{2,4}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0,6 \text{ daN/cm}^2$$

Puț vertical săpat în rocă coezivă, roca din zona sfărîmată posedînd o oarecare coeziune. Dacă se presupune că puțul vertical este săpat într-o rocă coezivă, cum ar fi o argilă nisipoasă, iar în interiorul zonei de forfecare — datorită fragmentelor de argilă — roca sfărîmată mai posedă o coeziune de $c = 0,0488 \text{ daN/cm}^2$, se va putea determina, plecînd de la ecuația lui Labasse:

$$p_i = (\sigma_{rb} + c \operatorname{ctg} \varphi) \left(\frac{a}{b} \right)^{i-1} - c \operatorname{ctg} \varphi \quad (3.72)$$

$$T = c \operatorname{ctg} \varphi = \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{0,0488}{0,75} = 0,065 \text{ daN/cm}^2.$$

înlocuind:

$$p_i = (0,3 + 0,065) \left(\frac{1}{1,5} \right)^3 - 0,065 = 0,0445 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în cazul cînd roca din zona sfărîmată mai posedă o oarecare coeziune, presiunea asupra susținerii este cu mult mai mică ($p_i = 0,0445 \text{ daN/cm}^2$) decît în cazul cînd roca din interiorul zonei sfărîmate nu mai posedă nici un fel de coeziune ($p_i = 0,087 \text{ daN/cm}^2$).

Pentru condițiile Văii Jiului, luînd în considerare patru categorii de roci caracteristice și pentru adîncimi pînă la 1000 m, presiunea, după mai mulți autori, are valorile din tabelul XVI.29.

3.3.2.3. Presiunea neuniformă asupra lucrărilor miniere verticale

Ipotezele tratate pînă în prezent au considerat presiunea ca fiind uniform distribuită în jurul lucrărilor miniere verticale.

Dacă se iau în considerare observațiile și măsurătorile practice realizate, atît în țara noastră cît și în străinătate, se ajunge la concluzia că, în majoritatea cazurilor, aceste

Tabelul XVI.20

Valorile presiunilor pentru condițiile Văii Jiului

Autorul	Formula autorului	Adâncimea la care se calcu- lează pre- siunea [m]	Argilă șistoașă	Argilă grezoasă	Marnă bitumi- noasă	Gresie dură
M. M. Protodiako- nov	$P = \gamma H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$	500 700 1000	15,3 21,4 30,6	16,1 23,6 32,2	13 18,2 26	11,7 16,4 23,4
P. M. Țimbarevici	$P = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\beta}{2} \right)$	500 700 1000	15,3 21,4 30,6	16,1 22,6 32,2	13 18,2 26	11,7 16,4 23,3
K. V. Pavlov	$P = \gamma n (h_n + h_0) \frac{3}{2} \sqrt[3]{D + i} \cdot A$	500 700 1000	14,6 20,4 29,2	15,35 21,6 30,7	12,4 17,4 24,8	11,2 15,7 22,4
A. N. Dinik	$P = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H$	500 700 1000	11,3 15,7 22,6	8,4 11,75 17,2	31,8 44,5 63,6	4,45 6,25 8,9
Fenner-Labasse	$P = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma H (1 - \sin \varphi) \left(\frac{a}{b} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}$	500 700 1000	12,5 18,2 25	12,5 18,2 25	12,8 18 25,6	13 18,2 26
Fr. Mohr	$P = \frac{0,1 \gamma H}{2(K - 1)} [K + (K - 2) \cos 2\varphi]$	500 700 1000				

lucrări sînt supuse la presiuni neuniforme, neuniformitate caracterizată prin coeficientul de variație a presiunii determinat prin relația:

$$V = \frac{1}{P_m} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - P)^2}{n - 1}} \quad (3.73)$$

în care: p_m reprezintă presiunea medie:

p_i — valoarea presiunii într-un punct din secțiunea transversală a puțului;
 n — numărul de puncte în care este măsurată mărimea presiunii.

Mărimea coeficientului de variație a presiunii depinde de o serie de factori, printre care: adâncimea, caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor, felul și tehnologia de montare a susținerii, unghiul de înclinare a stratelor traversate etc.

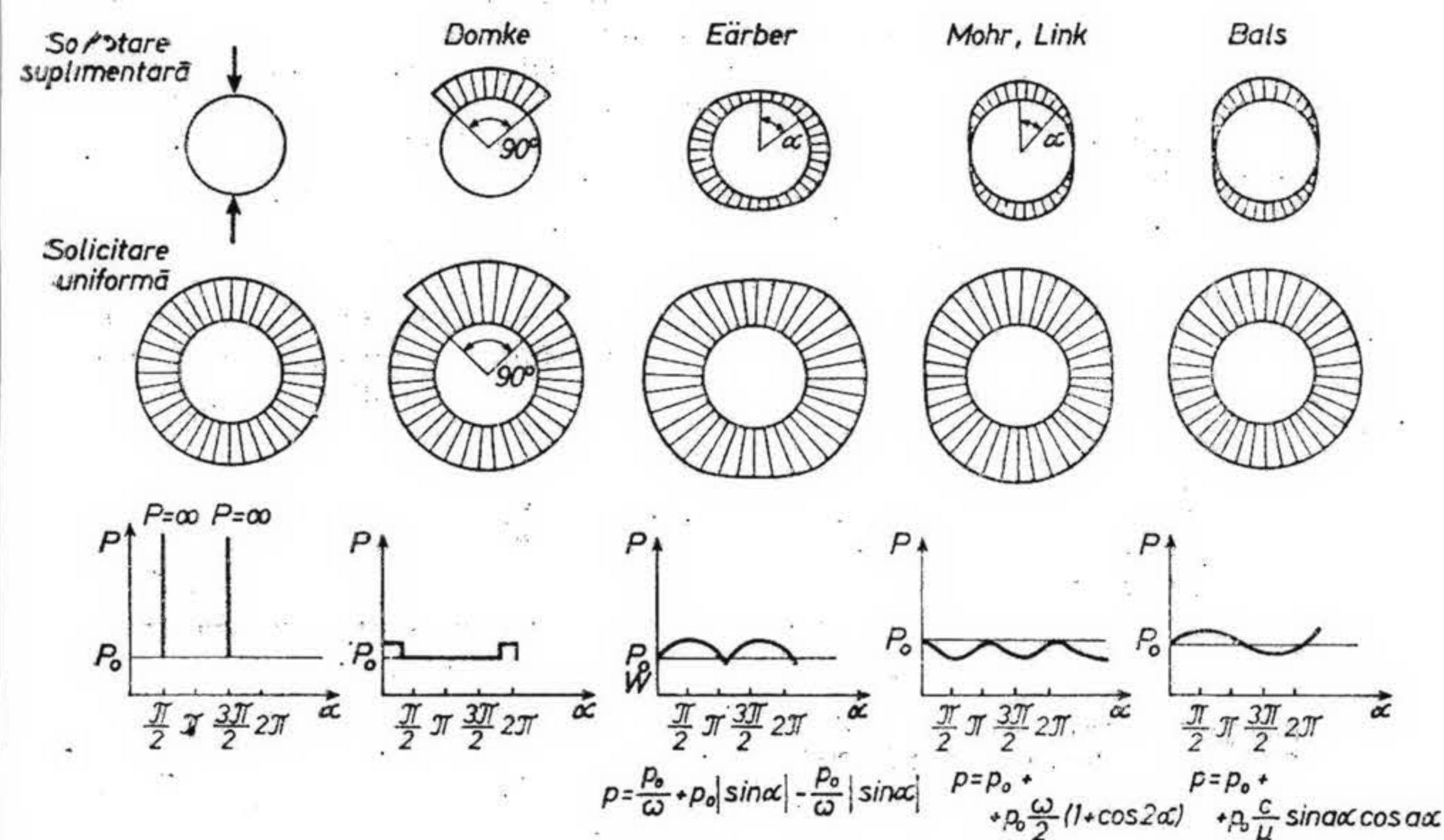


Fig. XVI.89. Distribuția neuniformă a presiunii în jurul lucrărilor miniere verticale.

După unii autori — Țimbarevici, Mohr, Faber — mărimea acestui coeficient variază între 0,1—0,15. Pentru a se putea trece la calculul presiunii în condiții de solicitare neuniformă, unii autori au imaginat mai multe scheme posibile de distribuție neuniformă a presiunii, calculând și valorile presiunii maxime (fig. XVI. 89).

În urma unor măsurători practice și a interpretării lor prin statistică matematică, s-a stabilit următoarea lege de variație a presiunii:

$$p_{min}^{max} = p_{med}(1 \pm 3V), \quad (3.74)$$

în care: p_{min}^{max} reprezintă presiunea maximă sau minimă;
 V — coeficientul de variație a presiunii.

3.3.3. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA ABATAJELOR

Studiul manifestării presiunii în abataje permite interpretarea corectă a interacțiunii dintre rocă și susținere, elaborarea unor metode de calcul bine fundamentate din punct de vedere științific, îmbunătățirea construcției susținerilor, reducerea accidentelor de muncă etc. Acest studiu este foarte complicat din cauza numărului mare de parametri ce trebuie luați în considerare, printre care:

— geologici (proprietățile fizico-mecanice ale rocilor înconjurătoare și ale substanței minerale utile, forma, dimensiunile, succesiunea stratigrafică și prezentarea tectonică a rocilor, prezența unor suprafețe de minimă rezistență, precum și existența gazelor și apelor subterane);

— minieri (forma și dimensiunile frontului de abataj, procedeul de abataj folosit, sistemul de susținere a abatajului, metode de dirijare a presiunii rocilor).

Numărul ridicat de parametri care influențează modul de manifestare a presiunii, precum și cunoașterea insuficientă a acestora au condus la explicarea în mod diferit a presiunii și la formularea unui număr ridicat de ipoteze care pot fi grupate astfel:

- 1) ipoteza bolții de presiune;
- 2) ipoteza înconvoierii stratelor din acoperiș;
- 3) alte ipoteze.

Ipoteza bolții de presiune. Conform acestei ipoteze datorită executării excavației și descoperirii acoperișului stratului, deasupra lucrării miniere executate în orice rocă, cu excepția nisipurilor acvifere, se formează o boltă de presiune care preia greutatea rocilor acoperitoare protejind în acest fel susținerea din abataj — transmițând-o în fața și în

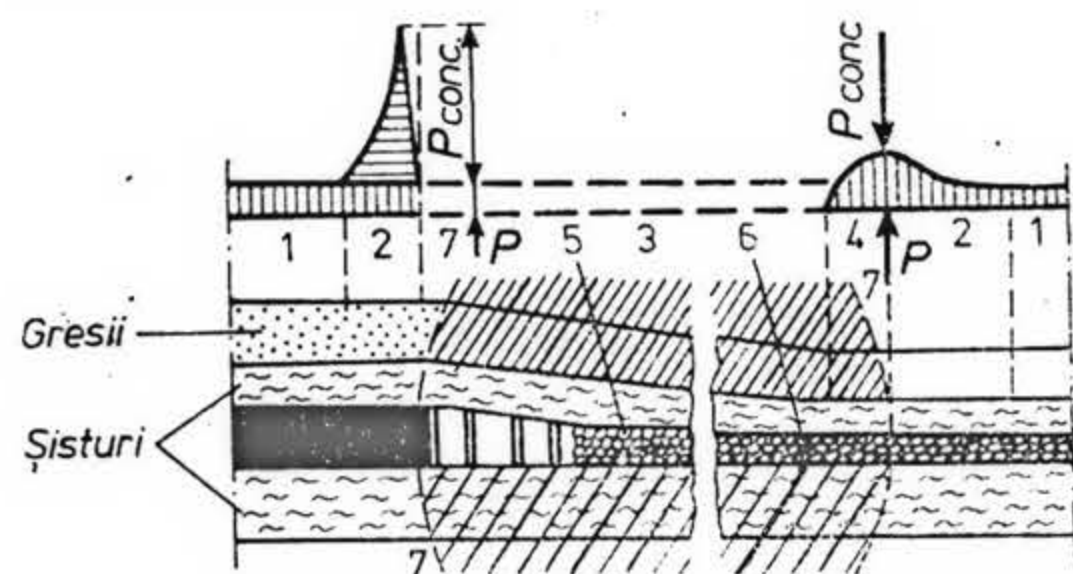


Fig. XVI.90. Schema formării bolții la un abataj :

1 — domeniul stării normale (inițiale) de tensiuni; 2 — domeniul concentrării tensiunilor (al presiunii de reazem); 3 — zonă eliberată de presiune (lipsită de tensiuni); 4 — zonă în care rambleul începe să peria o anumită presiune; 5 — rambleu netasat; 6 — rambleu în cruce de tasare; 7 — limitele zonei tensiunilor reduse.

spatele frontului de abataj. Rocile din interiorul bolții vor fi frământate și eliberate de tensiuni. În consecință, presiunea maximă pe susținere va fi dată numai de greutatea rocilor din interiorul bolții de presiune sau a bolții de echilibru (fig. XVI. 90).

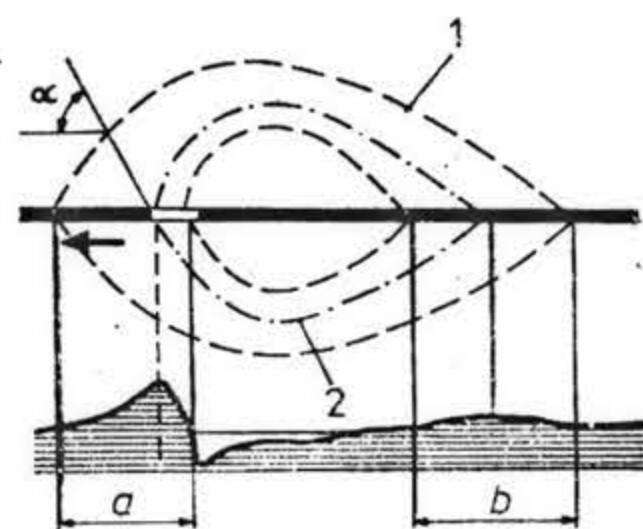


Fig. XVI.91. Formarea bolții de presiune secundară :

a — porțiune frontală a bolții; b — porțiune din spatele bolții; 1 — linie de reazem a bolții; 2 — boltă de presiune în culcușul stratului; α — unghi de surpare.

Pe măsura avansării frontului de lucru, bolta de presiune se amplifică treptat intervenind surparea ei periodică. Avansarea continuă a liniei de front determină formarea unei bolți, denumită *boltă de presiune secundară* (fig. XVI. 91), care se reazemă în spate pe rocile surpate sau pe rambleu. Avansarea continuă a frontului de lucru face ca punctul de reazem din fața bolții să fie mereu subminat și să se deplaseze înainte.

Astfel, deschiderea bolții se mărește din nou, intervenind surparea ei, care atrage după sine mutarea punctului de reazem din spate cât mai aproape de cel din față.

După cum se observă, ipoteza bolții conține două idei fundamentale:

— zona concentrării tensiunilor în masiv are forma de boltă;

— rocile situate în zona concentrării tensiunilor pot să rămână în echilibru, fără participarea rocilor din zona tensiunilor reduse.

Pentru calculul presiunii în punctul cel mai nefavorabil, adică pe ultimul rând de stâlpi, se consideră bolta parabolică din fig. XI.92 de ecuația:

$y = \frac{x^2}{a_1 f}$. Plecând de la relația generală $P = \gamma_a \cdot H$ și considerând că zăcămintul are o înclinare α , relația generală a presiunii pe ultimul rând de stâlpi va fi:

$$P_{max} = \gamma_a \cdot b \cdot \cos \alpha \text{ dar } b_{max} = \frac{a_1}{f}$$

iar:

$$b = b_{max} - y = \frac{a_1}{f} - \frac{x^2}{a_1 f} \text{ sau } b = \frac{a_1}{f} \left(1 - \frac{x^2}{a_1^2} \right)$$

în care: $x = a_1 - (l_a + S)$

După Protodiakonov, distanța sau zona de strivire (S) are valoarea: $S = 1,6 \sqrt{\frac{H}{f}}$.

De aici, rezultă

$$P_{max} = \frac{\gamma_a \cdot a_1}{f} \left[1 - \frac{\left[a_1 - \left(l_a + 1,6 \sqrt{\frac{H}{f}} \right)^2 \right]}{a_1^2} \right] \cos \alpha$$

Ipoteza înconvoierii stratelor din acoperișul abatajelor grupează mai multe ipoteze, asemănătoare între ele:

Ipoteza grinzilor în consolă deosebește un *acoperiș direct* care se găsește deasupra stratului de cărbune, fiind format din roci care în cazul în care nu sînt susținute se surpă ușor, și un *acoperiș principal*, care se găsește deasupra acoperișului direct sau în unele cazuri chiar deasupra stratului de cărbune, fiind format din roci rezistente care se surpă greu;

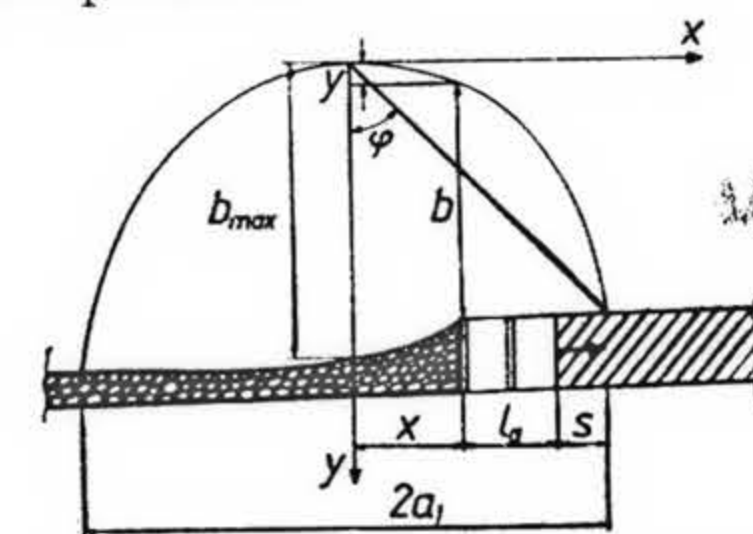


Fig. XVI. 92. Shema de calcul a presiunii pe susținere după ipoteza bolții.

ipoteza presupune că stratele de rocă situate deasupra abatajului pot fi considerate ca niște grinzi sau plăci încastrate la unul din capete în masiv, celălalt capăt sprijinindu-se pe susținere, pe roca surpată sau pe rambleu (fig. XVI.93).

Conform acestei ipoteze, presiunea asupra susținerii din abataj este dezvoltată de momentele încovoietoare care apar în consola acoperișului direct și uneori în consola acoperișului principal. Aceasta, datorită faptului că la un moment dat și acoperișul principal poate fi în consolă, în care caz el se sprijină pe rocile surpate din acoperișul direct, acoperișul principal suferind încovoieri sau rupturi periodice. În consecință, presiunea

asupra susținerii obișnuite a abatajului va fi: $P = \gamma_a \cdot m$ sau: $P = \sum_{i=1}^n \gamma_a \cdot m_i$.

Pentru înlăturarea presiunilor exagerate, capătul liber al acoperișului direct se scurtează periodic prin prăbușire.

Ipoteza grinzilor în consolă are meritul că explică în mod satisfăcător modul de concentrare a tensiunilor în zona frontului de lucru și modul de distribuție a presiunii de reazem pentru rocile de diferite rezistențe.

Ipoteza plăcilor consideră că datorită greutății proprii a stratelor din acoperiș și greutatei stratelor acoperitoare, se vor transmite în pereții spațiului exploatat presiuni concentrate (P_r) (fig. XVI. 94). Pe măsura creșterii spațiului exploatat, stratele — fiind supuse la tensiuni de încovoiere crescînde, proporționale cu distanța dintre reazeme — se

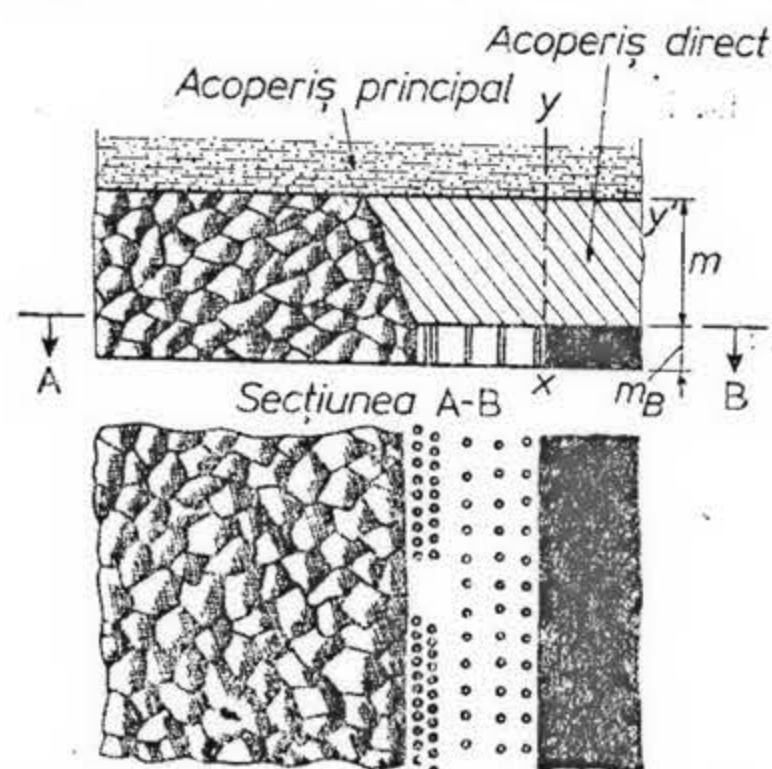


Fig. XVI.93. Acoperiș direct sub forma unei grinzi în consolă în cazul exploatării cu prăbușire totală.

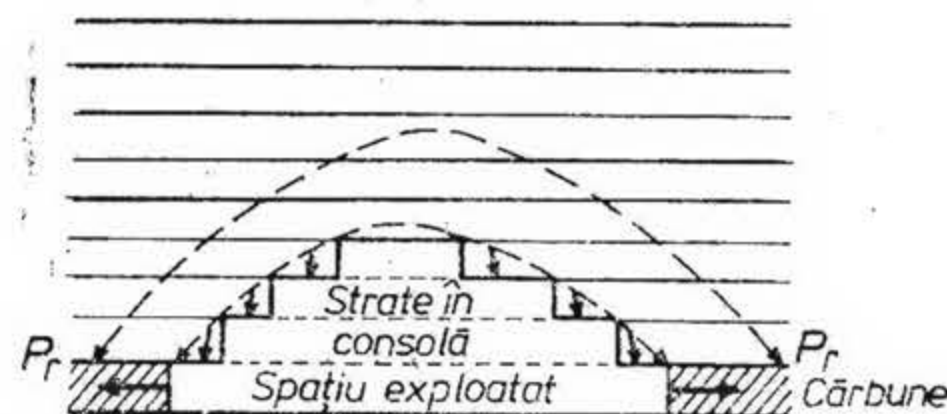


Fig. XVI.94. Schema transmiterii presiunii de reazem după ipoteza plăcilor; P_r — presiunea de reazem.

vor surpa, rămînînd lateral numai porțiuni în consolă, reduse ca lungime. Ca urmare surpării stratelor, se formează deasupra spațiului exploatat o excavație sub formă de boltă, denumită de K. K e g e l boltă aparentă de presiune.

Pentru ca presiunea asupra susținerii din spațiul de abataj să fie cît mai redusă, este necesar ca plăcile în consolă să fie surpate periodic la un anumit interval, denumit pas de surpare.

Ipoteza fisurării prealabile. Conform acestei ipoteze L a b a s s e consideră că în strat, în zonele situate în fața frontului de lucru, are loc formarea unor fisuri cauzate de diferența mare dintre tensiunile principale care apar în rocile situate în zona tensiunilor mărite.

Stratele de roci supuse fisurării suplimentare în zona a doua își pierd rezistența la tracțiune, rezistînd la încovoiere numai datorită frecărilor care se nasc sub influența eforturilor tangențiale de valoare ridicată. Ele sînt pretensionate de rocile acoperitoare, care acționează după legătura grinzilor în consolă, a căror elasticitate depinde de gradul lor de fisurare. Rocile sînt cu atît mai elastice, cu cît gradul lor de fisurare este mai redus. Deoarece au loc deformații pseudoplastice, rezultă că încovoierea stratelor de rocă depinde nu numai de rezistența lor, deschiderea spațiului de lucru al abatajului și mărimea sarcinilor, ci și de timp. Stratele rigide lipsite de fisuri se încovoie mult mai puțin decît stra-

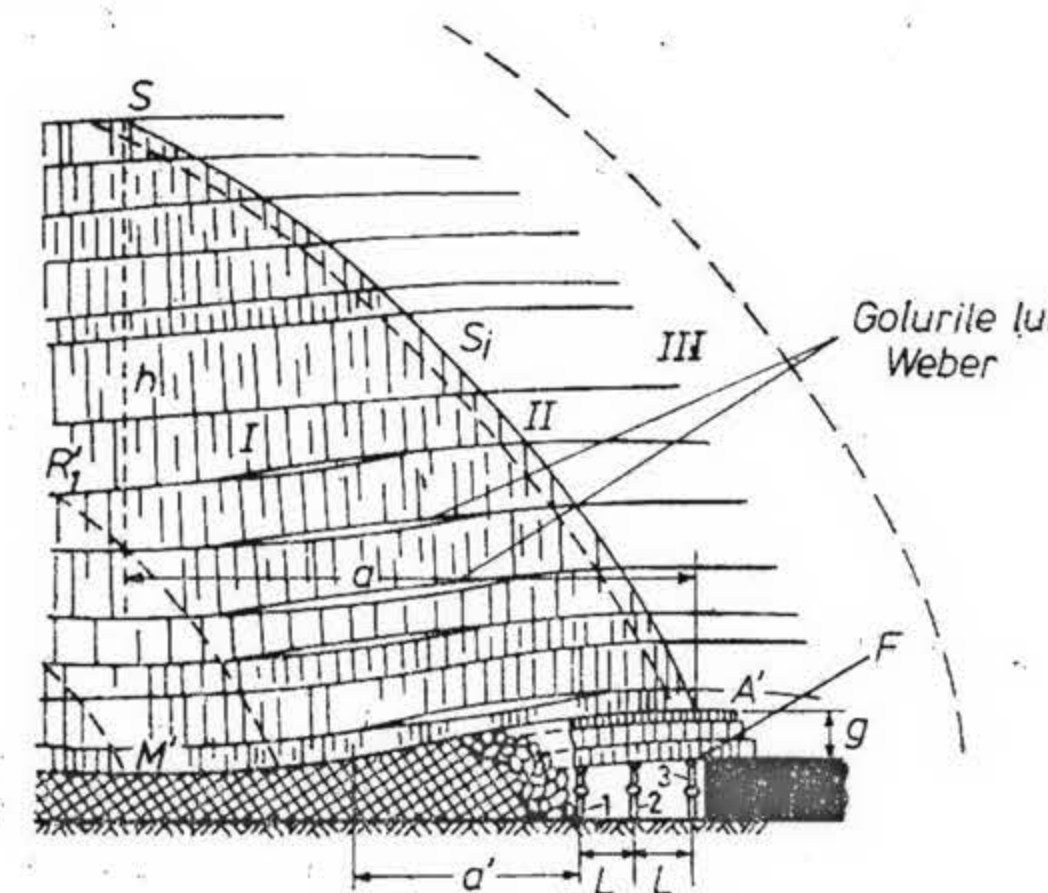


Fig. XVI.95. Formarea golurilor lui Weber după ipoteza lui Labasse.

tele elastice sau mai fisurate care preiau greutatea lor cînd acestea din urmă sînt situate deasupra. Stratele rigide nu participă la încovoiere, dacă stratele elastice sînt situate dedesubt. Această convergență separată a stratelor elastice față de stratele rigide determină formarea unor goluri, numite golurile lui Weber (fig. XVI. 95), goluri care împreună cu fisurile formate creează condiții de migrare a gazelor, de circulație a apelor în cazul cînd abatajele sînt situate sub nivelul hidrostatic.

Se remarcă: aptul că în ipoteza lui Labasse există o concepție logică, potrivit căreia în jurul lucrărilor de abataj se formează o rețea de fisuri sub influența cărora rocile își modifică proprietățile mecanice.

Presiunea creată de rocile acoperișului direct care se surpă asupra stîlpului 2 (fig. XVI.95) va fi:

$$P_1 = LL' (g \cdot \gamma_a \cos \alpha + p)$$

unde: LL' este distanța dintre stîlpi pe direcție;

p — presiunea creată prin destinderea uniformă a rocilor acționînd perpendicular pe planele de stratificație.

În lipsa intercalațiilor, valoarea lui p poate fi neglijată și deci:

$$P_1 = LL' g \cdot \gamma_a \cdot \cos \alpha$$

Asupra susținerii mai acționează și o parte a presiunii create de rocile din triunghiul cu baza a și înălțimea h , precum și presiunea specifică de destindere p și deci:

$$P_2 = F \cdot L' \left(\frac{ah}{6} \gamma_a \cos \alpha + \frac{a}{2} p \right)$$

unde: F este coeficient care determină cota parte din presiunea de reazem ce rămâne unui stîlp.

Presiunea maximă va fi: $P = P_1 + P_2$ și deci:

$$P_{max} = LL' \cdot g \cdot \gamma_a \cdot \cos \alpha + FL' \left(\frac{ah}{6} \gamma_a \cdot \cos \alpha + \frac{a}{2} p \right)$$

Dacă elasticitatea stîlpului este e , iar săgeata acoperișului în punctul respectiv este f atunci:

$$P_{max} = LL' \cdot g \cdot \gamma_a \cos \alpha + FL' \left(\frac{ah}{6} \gamma \cos \alpha + \frac{a}{2} p \right) e \cdot f$$

Din categoria ipotezelor care nu pot fi încadrate în primele două grupe, fac parte printre altele:

Ipoteza surpărilor în trepte aplicabilă pentru cazul cînd în acoperișul zăcămintului exploatat s-a format o zonă de tensiuni reduse, în formă de prismă triunghiulară cu baza ceva mai mare ca lățimea abatajului (fig. XVI.96).

Pe măsura înaintării frontului de abataj, zona de tensiuni reduse va crește de la lățimea a la lățimile a_1 și b_2 . În cazul cînd $H = \frac{a}{2}$, unde H este adîncimea de la suprafață și a semilățimea abatajului, zona de tensiuni reduse va atinge suprafața, iar partea în

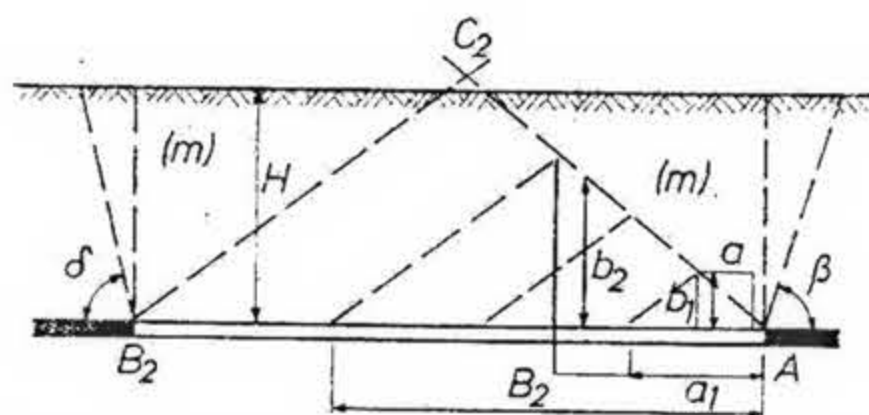


Fig. XVI.96. Schema de calcul a presiunii asupra tavanului abatajelor (după P. M. Țimbarevici).

consolă m a formațiunilor de roci acoperitoare va începe să se fisureze. Planurile de fisurare, respectiv de rupere vor forma cu planul orizontal, dus prin tavanul abatajului, unghiurile δ — în partea înspre care înaintază abatajul și β în partea opusă.

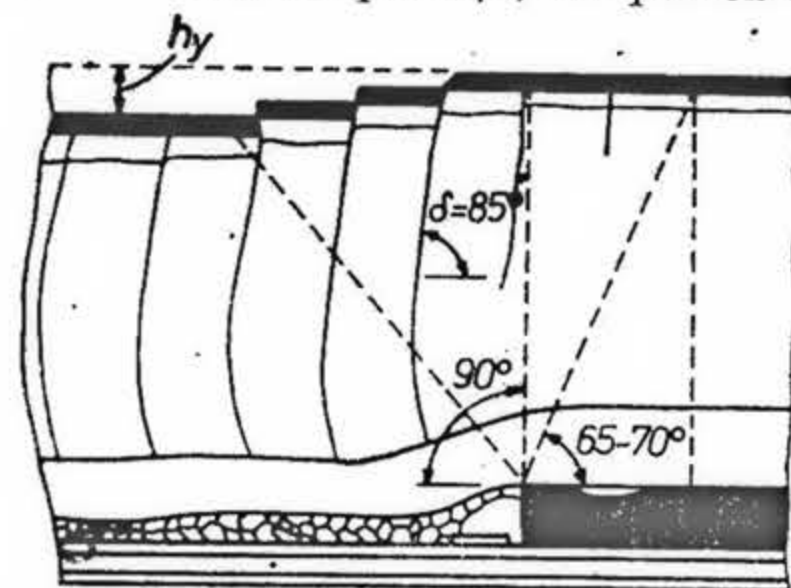


Fig. XVI.97. Schema deformării în trepte a rocilor din acoperișul stratorilor, cînd zăcămintul se află la adîncime mică.

Aceste fisuri delimitează coloana de roci sterile în prisme de alunecare care au anumite dimensiuni. Valoarea cea mai ridicată a presiunii va avea loc pentru situația cînd frontul de lucru se găsește între două crăpături (fig. XVI. 96).

Ipoteza blocurilor articulate emisă de G. M. Kuznetsov consideră că rocile din acoperișul stratului de cărbune se fisurează și se desprind sub forma unor blocuri. Autorul distinge două zone de surpare a blocurilor (fig. XVI. 97):

— zona surpărilor neregulate, formată din rocile acoperișului direct, avînd un coeficient de afinare de $K = 1,25 - 1,4$;

— zona surpărilor regulate, formată din rocile mai rezistente ale acoperișului principal, în care fisurația este mai puțin pronunțată, iar blocurile desprinse suferă o deplasare mai ordonată, rocile în ansamblul lor avînd un coeficient de afinare de $K = 1,05 - 1,15$.

În zona surpărilor regulate, blocurile separate între ele prin fisuri nu își pierd complet legătura între ele, formînd un sistem articulat cu mai multe verigi, care se lasă în mod ordonat asupra spațiului exploatat. Observațiile directe din subteran, precum și concluziile desprinse în urma studierii fenomenului pe materiale echivalente, au arătat că înălțimea zonei de surpare nu depășește de 4—5 ori grosimea stratului de cărbune.

Rezultă că pentru păstrarea portanței rocilor din acoperiș și împiedicarea fenomenului de fragmentare a acestuia, capacitatea portantă a susținerilor nu trebuie să aibă valori ridicate.

3.4. STUDIUL MANIFESTĂRII PRESIUNII MINIERE PRIN MĂSURĂTORI DIRECTE

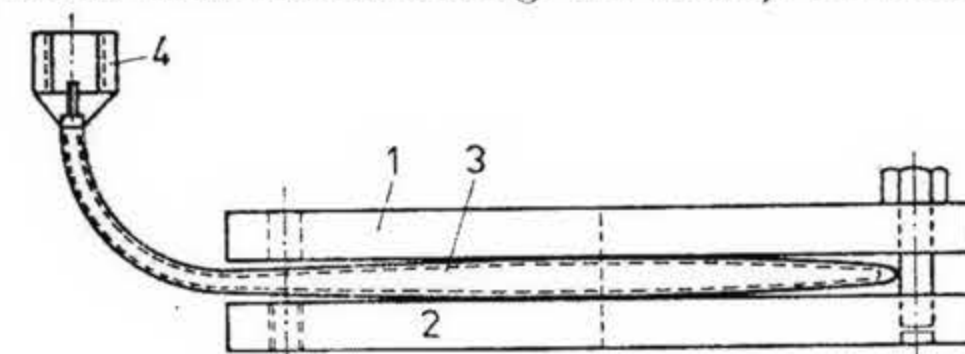
Măsurarea directă a presiunii care acționează în excavațiile subterane se realizează cu aparate funcționînd pe principii mecanice, hidraulice, electrice sau pe principii combinate.

Aparatele *mechanice* se bazează fie pe deformarea în limite elastice ale unor dinamometre, fie pe mărimea urmei lăsată de către bile de oțel în plăci de oțel cu rezistență redusă.

Aparatele *hidraulice* se bazează pe proprietatea de incompresibilitate a lichidelor ca: mercur, ulei, glicerină etc. astfel de aparate fiind redată în fig. XVI.98 și XVI.99.

Fig. XVI.98. Dinamometru hidraulic Wohlbiel-Ambatiello:

1, 2 — plăci de solicitare; 3 — aparatul propriu-zis;
4 — mufă de legătură cu aparatul de măsurare a presiunii.



Aparatele *electrice* se bazează, în cazul cel mai general, fie pe metoda tensometriei electrice, fie pe modificarea frecvenței vibrării unor coarde de oțel în funcție de solicitare (fig. XVI. 100).

Aparatele combinate sînt, în general, aparate electro-hidraulice combinînd cele două caracteristici, în scopul obținerii unei precizii mai mari (fig. XVI.101). Folosirea diferitelor tipuri de aparate se face în funcție de loc, de rocă, condițiile exsistente și de precizia urmărită. Măsurătorile se realizează prin amplasarea aparatelor între susținere și rocă, prin încăstrarea acestora în beton, între tavan și vatră sau prin menținerea lor în spațiul surpat.

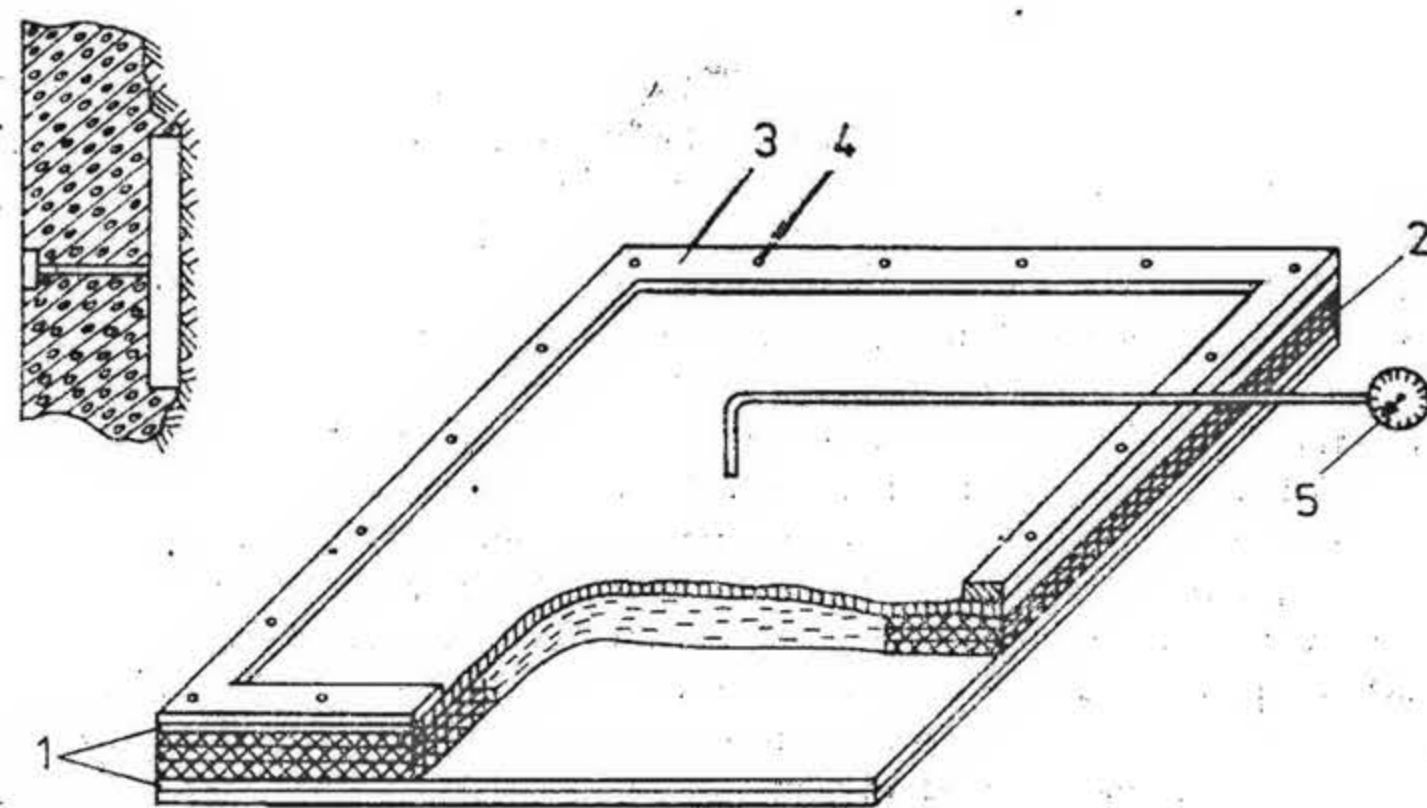


Fig. XVI.99. Aparat hidraulic — tip I.M.P. — 3:

1 — plăci de solicitare; 2 — garnitură de etalonare; 3 — rama de prindere; 4 — șuruburi de legătură; 5 — aparat de măsurare.

Fig. XVI.100. Aparat pentru măsurarea presiunii radiale.

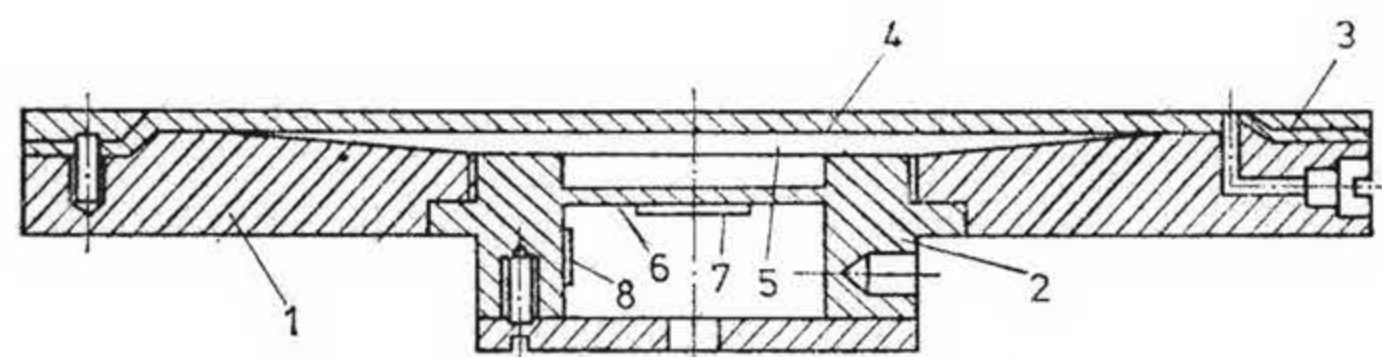
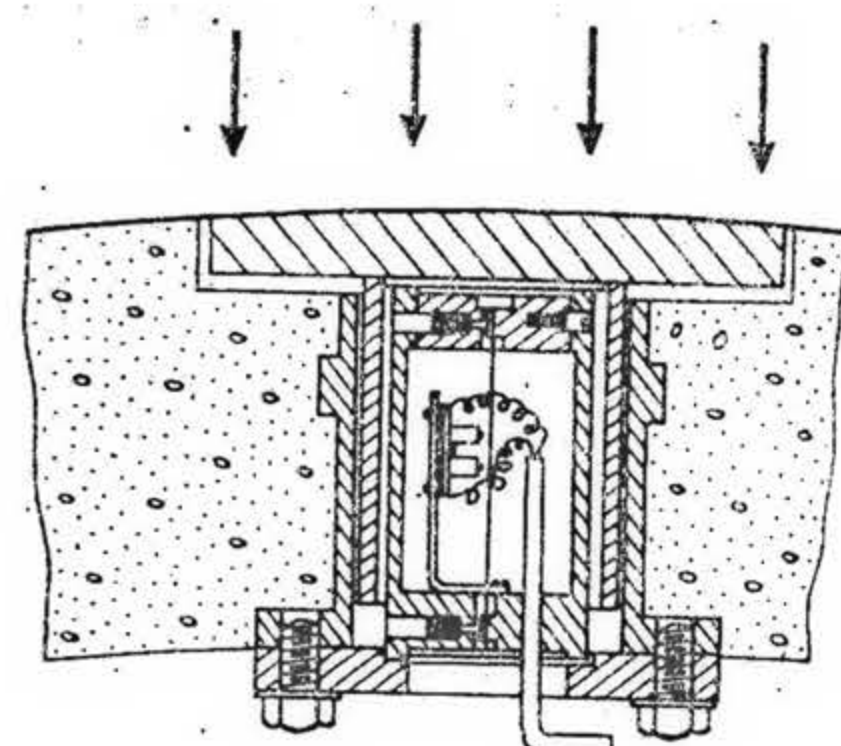


Fig. XVI.101. Aparat electric tip Freiberg:

1 — corp metalic; 2 — cilindru de legătură; 3 — inel de etanșare; 4 — membrană elastică; 5 — cameră cu lichid sub presiune; 6 — membrană elastică de oțel; 7 — marcă tensometrică activă; 8 — marcă tensometrică de compensare.

În urma unui mare număr de măsurători, pentru a putea trage concluzii juste și folositoare, este necesar ca rezultatele obținute în măsurătorile individuale să fie prelucrate.

3.5 STUDIUL MODULUI DE MANIFESTARE A PRESIUNII PRIN METODA MODELĂRII CU MATERIALE ECHIVALENTE

Datorită faptului că metodele teoretice de cercetare a stărilor de tensiuni, a presiunilor și deplasărilor de roci s-au dezvoltat pentru cazuri ideale, și faptului că modul de manifestare a presiunii este determinat de o serie de cauze și factori care acționează simultan, lucru ce implică studiul acestora în natură, în prezent se folosesc pe o scară din ce în ce mai mare studii prin metoda modelării.

Această metodă constă în înlocuirea rocilor naturale, respectiv a substanței minerale utile, care se cercetează, cu materiale artificiale având proprietăți fizice, mecanice și elastice similare, respectându-se legile similitudinii dintre obiectul de modelat și modelul de laborator experimental.

Similitudinea geometrică (α_L) impune ca raportul între dimensiunile liniare din natură și dimensiunile liniare corespunzătoare din model să rămână constante, adică:

$$\frac{L_n}{L_m} = \alpha_L = \text{constant}, \quad (3.75)$$

Similitudinea cinematică (α_t) consideră că particulele de rocă din natură, respectiv cele din model, deplasându-se după o traiectorie geometrică asemănătoare, parcurg în unitatea de timp un drum geometric asemănător, adică:

$$\frac{T}{t} = \alpha_t = \text{constant}, \quad (3.76)$$

Similitudinea dinamică (α_γ) se obține atunci când masele punctelor asemănătoare din natură și din model se deosebesc printr-o constantă:

$$\frac{\gamma_{aN}}{\gamma_{aM}} = \alpha_\gamma = \text{constant}. \quad (3.77)$$

Pornindu-se de la legile de bază ale similitudinii, se pot stabili relațiile de dependență dintre materialele, respectiv rocile din natură și cele din model. Astfel, în cazul proceselor de deformare și rupere, se deosebesc următoarele relații:

$$\begin{aligned} \sigma_{rcM} &= \sigma_{rcN} \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \\ \sigma_{rtM} &= \sigma_{rtN} \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \\ c_M &= c_N \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \\ \text{tg}\varphi_M &= \text{tg}\varphi_N, \end{aligned} \quad (3.78)$$

Condițiile asemănătoare ale proceselor în domeniul elastic necesită următoarele cerințe:

$$E_M = E_N \alpha_Y^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \quad (3.79)$$

Condiția de asemănare a proceselor în domeniul deformărilor plastice este dată de relația:

$$\frac{\varepsilon_{pM}}{(\varepsilon_e + \varepsilon_p)_M} = \frac{\varepsilon_{pN}}{(\varepsilon_e + \varepsilon_p)_N} \quad (3.80)$$

cu respectarea condiției:

$$\varepsilon_e + \varepsilon_p = f(\sigma) \quad (3.81)$$

În cazul modelării unei coloane stratigrafice formată din mai multe strate cu proprietăți mecanice diferite, condițiile de modelare impun ca:

$$\frac{\gamma_{a1M}}{\gamma_{a1N}} = \frac{\gamma_{a2M}}{\gamma_{a2N}} \dots \dots \frac{\gamma_{anM}}{\gamma_{anN}};$$

$$\frac{\eta_{1M}}{\eta_{1N}} = \frac{\eta_{2M}}{\eta_{2N}} \dots \dots \frac{\eta_{nM}}{\eta_{nN}},$$

Un parametru de bază în modelare este *valoarea sau scara timpului*; aceasta va fi determinată din relația:

$$\alpha_T = \frac{\eta_N}{\eta_M} \cdot \alpha_Y^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}, \quad (3.82)$$

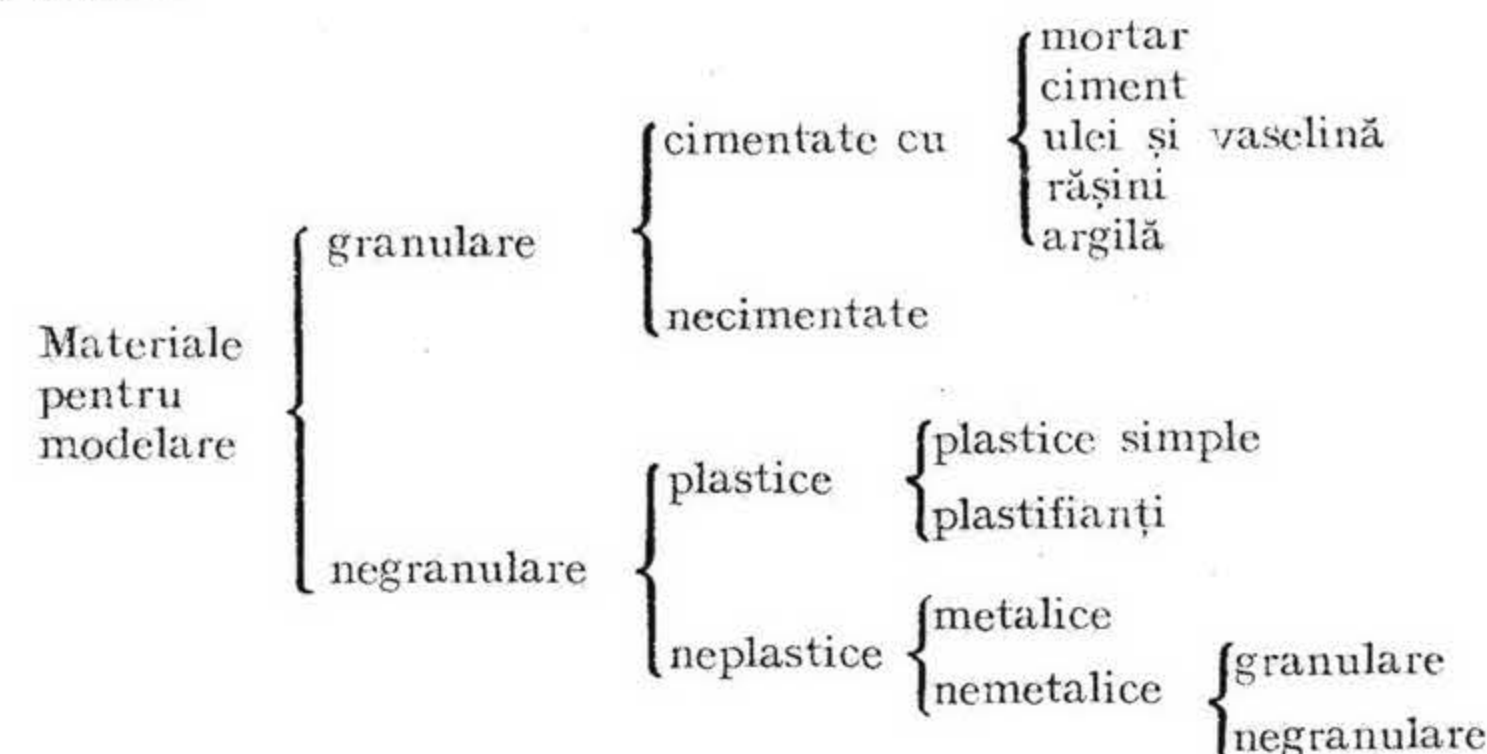
Datorită greutăților intervenite în determinarea viscozității dinamice, în mod frecvent se folosește pentru scara timpului relația

$$\alpha_T = \sqrt{\alpha_L}. \quad (3.83)$$

Pentru diferite condiții, în funcție de natura materialelor alese pentru modelare și de scopul urmărit, totalitatea condițiilor de similitudine poate fi simplificată.

Pentru realizarea machetelor de materiale echivalente, se folosesc o serie de materiale, care după Departamentul de Proiectări în Mecanica Rocilor din S.U.A. pot fi

clasificate astfel:



În mod obișnuit se folosesc materiale granulare necimentate sau cimentate cu ulei, vaselină, gips, parafină, colofoniu etc.

Elementul care umple masa materialului echivalent este nisipul cuarțos sau mase artificiale asemănătoare. Solventul pentru materialele preparate la rece este apa — pentru gips, benzina — pentru vaselină. Amestecurile cu parafină și în parte cu materiale plastice sînt preparate la cald.

În afara liantului și a solventului, în compoziția materialelor echivalente pentru modelarea rocilor mai intră diferite adaosuri, avînd drept scop modificarea unor parametri ai acestora.

Din încercările realizate în laboratorul de mecanică a rocilor de la Institutul de Mine Petroșani s-a constatat că o modificare oricît de mică a unui singur parametru influențează proprietățile materialului echivalent.

Pentru realizarea încercărilor pe modele de materiale echivalente se folosesc standuri de modelare fixe sau rotative, plane sau volumetrice. În funcție de scara de modelare aleasă, standurile au lungimi de la cîteva zeci de centimetri, la cîteva zeci de metri și lățimi corespunzătoare scării.

Pentru punerea în evidență a modului în care se deformează diferite categorii de roci din jurul unei lucrări miniere orizontale, au fost întreprinse o serie de cercetări pe standuri plane, avînd ca materiale echivalente:

- plastilină (proprietăți plastice pronunțate);
- parafină (proprietăți elasto-casante);
- nisip + parafină (proprietăți variabile în funcție de cantitatea de parafină, granulometria nisipului etc.).

În urma încercărilor efectuate pe modelele din gelatină-glicerină au fost obținute rezultate însemnate referitoare la modul de deformare a rocilor (fig. XVI.102).

Ca o deficiență a încercărilor se poate semnală faptul că acestea nu indică mărimea tensiunilor din jurul lucrărilor miniere. Încercările realizate prezintă și deficiența că nu au luat în considerare reacțiunea susținerii.

Studii mai complexe efectuate pe materiale echivalente stratificate, cu luare în considerare a reacțiunii susținerii, au pus în evidență modul de comportare, de deformare și rupere a rocilor în situații care se apropie de situațiile reale din natură. Astfel, au fost executate lucrări miniere circulare, susținerea fiind modelată cu ajutorul unor tuburi cilindrice de cauciuc în care s-a introdus apă sub presiune, presiunea creată fiind echivalentă cu reacțiunea susținerii. În urma acestor încercări, s-au constatat următoarele:

— când modelul a fost supus unei presiuni verticale de 22 daN/cm^2 și unei presiuni orizontale de 15 daN/cm^2 , reacțiunea susținerii fiind zero, roca înconjurătoare s-a deformat astfel încât secțiunea lucrării s-a redus cu circa 60% ;

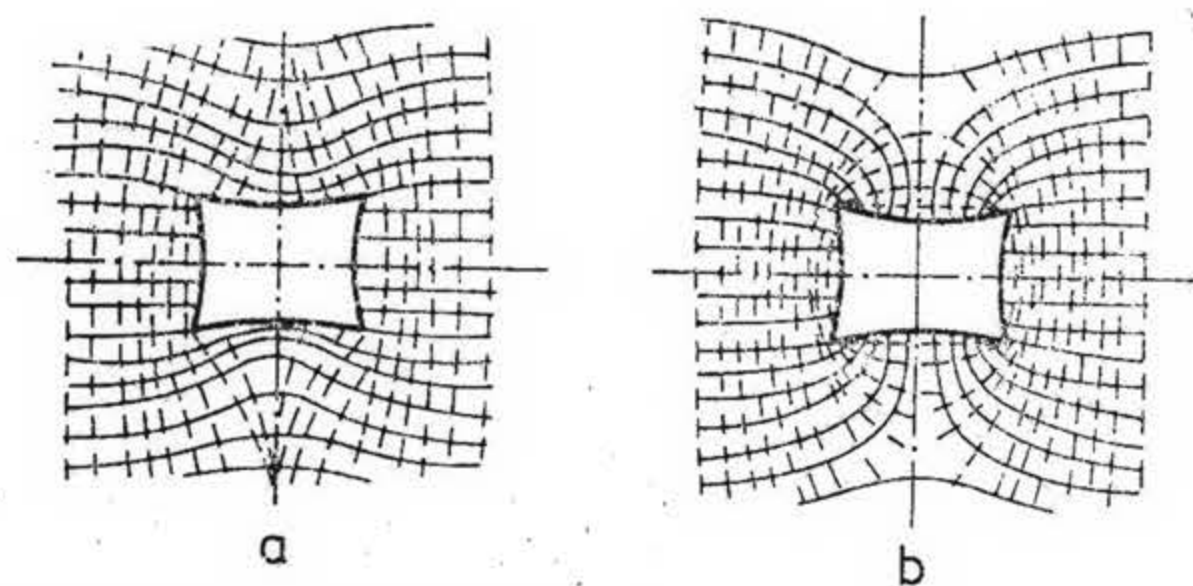


Fig. XVI.102. Model de gelatină-glicerină cu posibilitate de deformare liberă:

a — numai în lungul secțiunii tăiate în placă și traiectoriile tensiunilor principale; b — numai spre interiorul secțiunii tăiate în placă și traiectoriile tensiunilor principale (după E. Lehr, K. Seidl).

— când modelul a fost supus unei presiuni verticale de 22 daN/cm^2 și unei presiuni orizontale de 21 daN/cm^2 , reacțiunea susținerii fiind de circa 1 daN/cm^2 , secțiunea lucrării a fost redusă cu 34% din secțiunea inițială;

— când presiunea verticală a fost de 22 daN/cm^2 , presiunea orizontală de $15,5 \text{ daN/cm}^2$, iar reacțiunea susținerii de $3,5 \text{ daN/cm}^2$, secțiunea lucrării a suferit o reducere de numai 18% .

Încercările de acest fel sînt foarte utile, cu ajutorul lor putîndu-se stabili, pentru diferite condiții din natură, felul și reacțiunea necesară a susținerii, astfel ca lucrarea minieră să fie stabilă.

Un studiu asemănător a fost realizat, în Laboratorul de mecanica rocilor de la I. M. Petroșani, pentru proiectarea tunelului de acces în subteran la mina Șuilor. Cu ajutorul unui stand plan s-a studiat forma optimă a profilului transversal al tunelului, reacțiunea necesară a susținerii, modul de deformare și rupere a rocilor înconjurătoare.

Rocile au fost modelate ținînd seama de legile similitudinii, proprietățile acestora fiind realizate pentru scara de modelare 1:50. Solicitarea asupra susținerii a fost realizată prin intermediul unor pîrghii de care s-au atîrnat anumite greutăți. Susținerea a fost modelată dintr-o membrană de cauciuc, iar reacțiunea susținerii s-a realizat prin presiunea de aer în interiorul membranei. Concluziile la care s-a ajuns au indicat o secțiune transversală sub formă de potcoavă cu vatră curbă și o susținere din beton, avînd grosimi variabile funcție de rocile străbătute.

Pentru studiul fenomenelor din jurul lucrărilor miniere verticale se folosesc de obicei standuri volumetrice. Un asemenea stand a fost realizat în laboratorul de mecanica rocilor de la I. M. Petroșani, urmărindu-se solicitarea asupra susținerii, mișcările de roci, precum și variația tensiunilor verticale și a celor radiale. În principal, standul a fost format dintr-o coloană centrală care a imitat puțul propriu-zis, susținerea fiind modelată cu ajutorul unor pastile hidraulice. De la fiecare pastilă hidraulică, prin intermediul unor tuburi flexibile, s-a făcut legătura cu un tub capilar cu ajutorul căruia a putut fi determinată solicitarea asupra susținerii.

Deplasarea rocilor a fost urmărită cu ajutorul unor repere prevăzute cu micro-comparatoare, iar starea de tensiune a fost determinată cu ajutorul unor microdinamometre tensometrice.

Pe măsura încărcării modelului cu materiale echivalente în strate succesive, acesta a fost închis într-o cămașă metalică.

Modelarea lucrărilor miniere de abataj este asemănătoare cu modelarea lucrărilor miniere orizontale, cu deosebirea că în acest caz standurile de modelare au dimensiuni cu mult mai mari, pentru a putea urmări totalitatea fenomenelor pe măsura avansării frontului de lucru.

4. STABILITATEA TALUZELOR

4.1. CONSIDERAȚII PRIVIND CONDIȚIILE ȘI FACTORII CARE DETERMINĂ STABILITATEA TALUZELOR

Problema stabilității taluzelor în roci este legată de activitatea minieră de producție din exploatarea la zi, de realizarea construcțiilor hidrotehnice, feroviare, rutiere de executarea galeriilor de coastă pentru activitatea minieră subterană, protejarea zonelor locuite sau cultivate cu relief accidentat. Dacă evaluarea stabilității taluzelor în cazul construcțiilor feroviare și rutiere este o problemă oarecum simplă și realizabilă cu costuri reduse, ea constituie o problemă de prim ordin atît din punct de vedere tehnic cît și economic în cazul exploatarea la zi (carierele adînci, pentru asigurarea stabilității taluzelor în timpul exploatarea: carierele de lignit din Oltenia, carierele de sisturi bituminoase de la Anina, carierele de la Moldova Nouă, Roșia Poeni etc.), a construcțiilor hidrotehnice și a celorlalte domenii precizate. Mai mult, se impune proiectarea acestor taluzuri și analiza stabilității lor.

A proiecta un taluz înseamnă a-i determina forma, panta și înălțimea lui în condiții de stabilitate asigurată. Pe plan mondial s-a ajuns cu carierele la adîncimea de 1000 m . La asemenea lucrări, mai ales, asigurarea stabilității taluzelor face ca problema configurației acestora să devină un factor deosebit de important în aprecierea economicității, deoarece cantitatea de steril ce trebuie dislocată se modifică în funcție de dimensiunile geometrice ale taluzului (pentru o creștere a pantei taluzelor cu 1° , la o carieră cu dimensiunile $300 \times 300 \times 100 \text{ m}$ se extrage în plus 1 milion tone de minereu).

Stabilitatea taluzelor se exprimă printr-un *coeficient de siguranță* η sau *factor de stabilitate* F_s , ca și raportul dintre forțele de rezistență și cele de alunecare și deci pentru a avea un taluz stabil trebuie ca $\eta > 1$; $\eta = (\Sigma F_r / \Sigma F_{1a}) \geq 1$, adică să existe o rezervă de stabilitate.

Calitativ, conceptul de stabilitate reprezintă o nedeterminare. Coeficientul η sau F_s se ia mai mare, în funcție de gradul de nedeterminare a problemei. Stabilitatea are un caracter relativ: 1) atît din punct de vedere a timpului, coeficientul de stabilitate avînd valori diferite pentru taluzuri cu durată diferită (definitive sau de exploatare): $\eta = [(T+b)/a]^{1/n}$; unde a și b sînt coeficienți ce depind de proprietățile de rezistență ale rocilor; n — coeficientul funcție de natura rocii și comportamentul acesteia la rupere prin forfecare (tabelul XVI. 30); T — durată taluzului (tabelul XVI. 31); 2) cît și din punct de vedere spațial valoarea coeficientului de stabilitate η variază de la $\eta = 2-2,5$ la partea superioară a taluzului, pînă la $\eta = 1-1,3$ la baza lui.

Pierderea stabilității poate avea loc prin apariția și dezvoltarea suprafețelor de rupere în interiorul masivului, prin dezvoltarea zonelor de deformare neelastică sau datorită fenomenului de fluaj, consecințe ale stării de tensiune secundară creată în

masiv odată cu executarea în acesta a taluzului. Ca urmare a stării de tensiune secundară ce apare în taluzuri, imediat ce acestea s-au executat în masivele de rocă, fenomenul de pierdere a stabilității lor este de așteptat în cazul în care proiectarea elementelor taluzelor nu s-a realizat în contextul acestei stări și a tuturor factorilor ce determină stabilitatea lor (tabelul XVI.32).

Tabelul XVI.30
Valori ale coeficienților utilizați în determinarea stabilității de durată a taluzelor

Caracterizarea structural-texturală a rocii sau masivului	Valoarea unghiului de taluz θ [grade]								
	10°—30°			30°—60°			> 60°		
	a	b	n	a	b	n	a	b	n
Omogene, neafectate de suprafețe de minimă rezistență sau slăbiri structurale; stabile	1,2	0,9	6,0	1,17	0,92	5,2	1,15	0,95	4,8
Omogene, slab fisurate; de stabilitate medie	1,15	0,88	5,5	1,08	0,87	4,8	1,10	0,86	4,6
Omogene, fisurate, de stabilitate mică spre medie, adică potrivită	1,05	0,84	5,0	1,03	0,82	4,6	1,05	0,8	4,2
Neomogene constituite din blocuri; repartizarea tensiunilor în masiv este neuniformă	1,05	0,8	4,5	1,02	0,75	4,3	1,0	0,7	4,0

Tabelul XVI.31

Coeficientul de siguranță în funcție de durata taluzului

Coeficientul de siguranță	Durata de existență a taluzului T [ani]
1,1—1,2	1
1,2—1,5	<20
1,5—2,0	>20
3	seculară

Tabelul XVI.32

Factorii care determină stabilitatea taluzelor

Grupa de factori	Factorii		Caracterizarea succintă a influenței factorilor asupra stabilității taluzelor
	0	1	
0	<p>Grupa proprietăților de legătură create în timp de fenomenele geotectonice</p>		<p>Caracterizarea succintă a influenței factorilor asupra stabilității taluzelor</p>
1	<p>1°. <i>Natura litologică: structura și textura masivului: compoziția mineralogică. Natura și cimentul de legătură.</i></p> <p>2°. <i>Fragmentarea naturală a masei de rocă: la scară cristalină; la scară mare (stratificația, sistozitatea, disjuncțiunea, divizibilitatea, fracturarea, faliea); istoricul tectonic al masivului: heterogenitatea (heterotropia și anizotropia masivului).</i></p>		<p>Cunoașterea proprietăților ce caracterizează geologic și tectonic structural și textural masivul de rocă este un indicator calitativ cu privire la alegerea, proiectarea și verificarea elementelor geometrice ale taluzelor și a stabilității lor. În acest context se impune cunoașterea elementelor geometrice (orientarea, înclinarea), a parametrilor ce caracterizează fragmentarea naturală a masivului, a suprafețelor de minimă rezistență (stabilitate mai mică la o înclinare conformă și mai mare la o înclinare inversă), tabelul XVI.32. Natura litologică, tipul de masiv influențează și cantitativ valorile elementelor geometrice ale taluzelor (tabelul XVI.32). Recomandările orientative privind alegerea acestor elemente (θ și h) ale taluzelor au în vedere: structura și tectonica masivului, alcătuirea structurală, direcția și înclinarea straturilor și a fisurilor (fig. XVI.103); poziția straturilor (taluzele proiectate pe o direcție paralelă cu cea a straturilor, fisurilor etc. sunt mai puțin stabile decât cele orientate perpendicular pe această direcție); orientarea înclinării straturilor, fisurilor etc. (când panta taluzului și înclinarea straturilor cad în aceeași parte, ne aflăm în cea mai defavorabilă situație a stabilității; când înclinarea straturilor cade spre taluz, rezerva de stabilitate este de câteva ori mai mare). Căderea accidentelor tectonice de aceeași parte cu panta taluzului duce la pierderea stabilității lui</p>

0

2

chiar în cazul când stratele-fisurile etc. înclină spre taluz. Se impune deci o cunoaşterea aprofundată şi temeinică a acestor parametri local şi regional, deoarece funcţie de ei se va alege schema şi metoda de calcul a stabilităţii taluzelor.

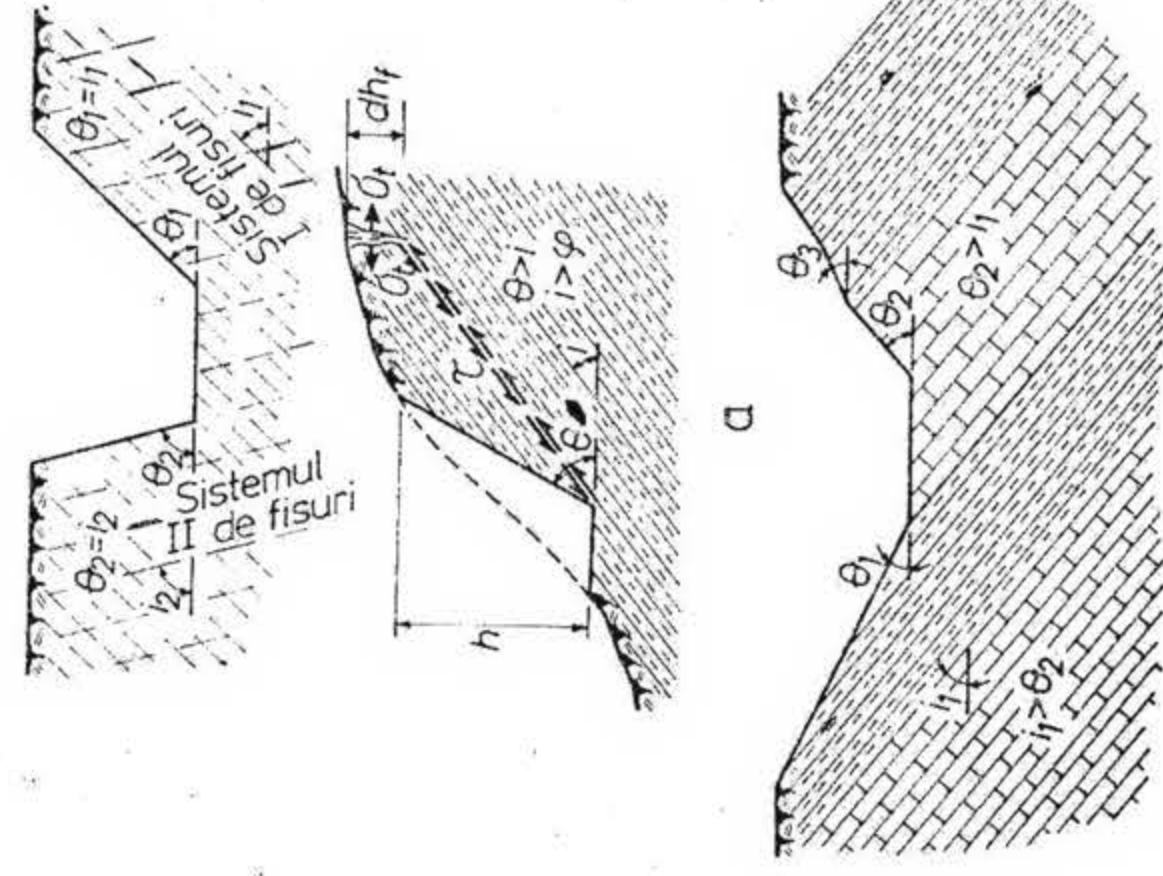


Fig. XVI.103. Factorii care influenţează valoarea θ şi h ;

a - direcţia şi înclinarea fisurilor concordantă cu θ ;
b - discordantă cu θ .

3°. Regimul hidrogeologic şi climateric (influenţa apelor de suprafaţă, subterane)

Grupa proprietăţilor de legătură create în timp de fenomenele geotectonice

Pierderea stabilităţii are loc atât la rocile moi cât şi la cele stîlcoase. În funcţie de tipul de rocă, fenomenul de alunecare se manifestă însă diferit; la rocile moi pierderea de stabilitate se manifestă în prealabil prin o serie de deformaţii evidente, pe cînd la rocile stîlcoase se produce instantaneu. Ruperea prin forfecare se produce diferit (fig. XVI.104).

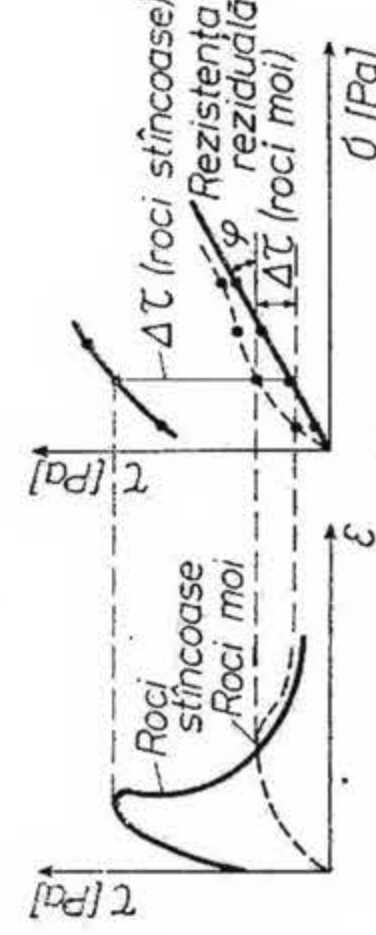


Fig. XVI.104. Ruperea prin forfecare a taluzelor.

Stabilitatea este practic controlată de rezistenţa reziduală $\Delta\tau = \tau_u$.

Caracteristicile menţionate trebuie determinate în vederea caracterizării masivului din punct de vedere al comportamentului său la deformare, al stabilităţii lui ca în final să se aleagă în mod judicios cele trei elemente principale de care depinde stabilitatea taluzelor, să se facă calculul de verificare a stabilităţii.

Calculul taluzelor apelează în primul rînd la starea de tensiune primară a masivului şi ca urmare, estimarea acestei stări se impune a fi realizată înaintea oricărui calcul de proiectare. Cea mai recentă metodă de analiză a stării de tensiune (primare sau secundare) este „metoda elementului finit” (MEF). Tehnica MEF foloseşte modelul matematic al mediului continuu constituit dintr-un număr mare de elemente interconectate prin noduri (fig. XVI.105). Modelul este

Grupa proprietăţilor fizico-mecanice

- 1°. Caracteristici fizice de densitate (greutatea specifică aparentă, porozitatea, indicele golurilor).
- 2°. Caracteristici fizice referitoare la faza lichidă din rocă (umiditatea naturală, umiditatea la saturaţie şi gradul de saturaţie, capacitatea de adsorbţie-absorbţie).
- 3°. Caracteristici fizice referitoare la faza solidă a rocii (analiza granulometrică).
- 4°. Caracteristici fizice referitoare la sistemul trifazic al rocii (permeabilitatea, proprietăţile de filtrare, gradul de filtrare, gradul de alterare, de dezagregare).
- 5°. Caracteristici de rezistenţă (tracţiune, compresie, forfecare), coeziunea şi unghiul de frecare interioară, unghiul de taluz natural, coeficientul de frecare, umflarea.
- 6°. Caracteristici elastice şi plastice.
- 7°. Caracteristici reologice

1°. Starea de tensiune primară

Comportamentul la deformare a masivului

2

2°. Starea de tensiune secundară

$$u = \begin{cases} u_x \\ u_y \end{cases}; u_x = a_0 + a_1x + a_2y; u_y = b_0 + b_1x + b_2y.$$

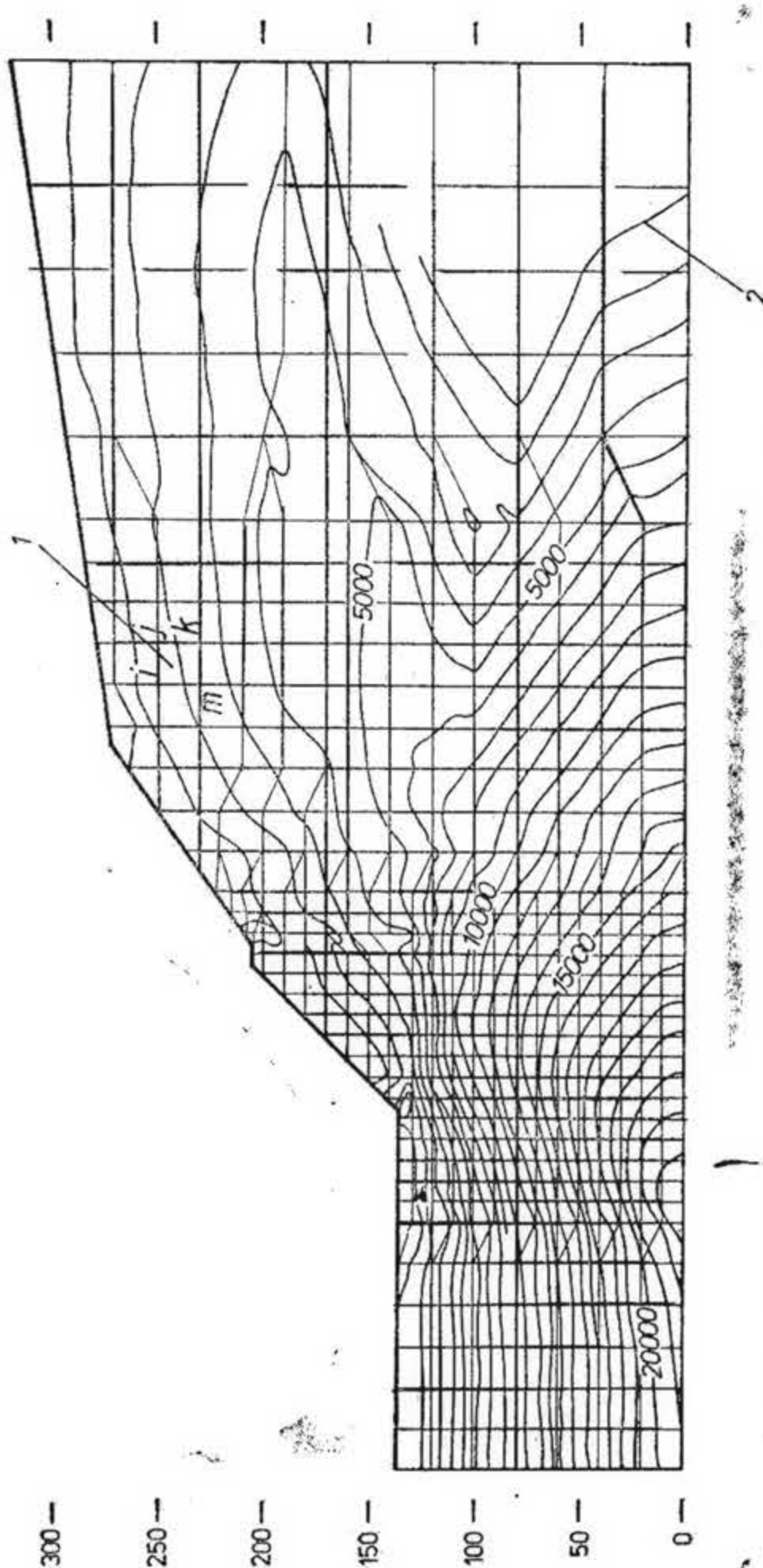


Fig. XVI.105. Metoda elementului finit (MEF) aplicată taluzelor.

o ecuație de echilibru obținută prin liniarizarea ecuațiilor de deplasare date de teoria elasticității. Din cauză că fiecare element poate avea proprietăți diferite, un asemenea model este recomandat pentru structuri complexe — roca sau masivul. Procedul se realizează numai cu ajutorul calculatorului cu posibilități mari de înmagazinare a datelor. Pentru un element triunghiular unidimensional deplasarea u a unui nod al elementului este:

Grupe factorilor de factură geometrică și tehnologică

1°. Elementele geometrice ale taluzului (forma, panta și înălțimea taluzului).

2°. Tipul de taluz sau durata acestuia

3°. Existența suprasarcinilor (utilajele de excavație, mijloace de transport etc.).

4°. Prezența bermelor

Relațiile între deformări, tensiunea de forfecare și expresiile de deplasare ale lui Havier:

$\{F\} = [L]\{\epsilon\}$; $\{\epsilon\} = [L_1]\{u\}$; $\{\tau\} = [L_2]\{\epsilon\}$; $\{F\} = [L_3]\{\tau\}$ unde: $[L] = L_{ij} = [L_3][L_2][L_1]$, care se liniarizează prin înlocuirea operatorului diferențial $[L_1]$ cu operatorul algebric liniar $[L_1]$. Deci: $\{\epsilon\} = [L_1]\{u\}$.

Stabilitatea taluzelor depinde de elementele lui geometrice, fig. XVI.106 (de exemplu pentru un $\theta = 60-70^\circ$ probabilitatea de cedare a taluzului este foarte mare) de durată talu-

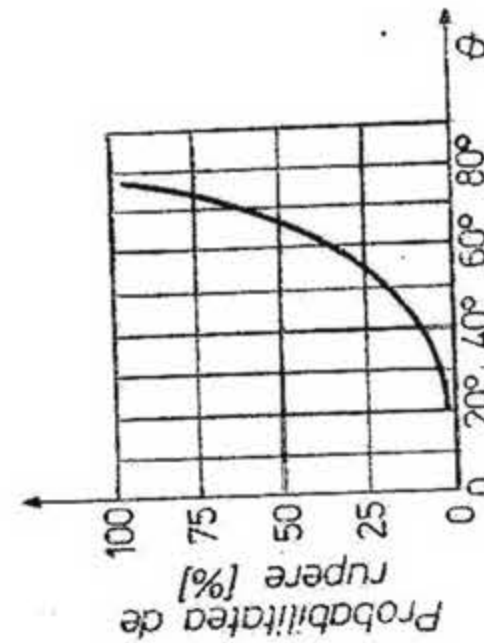


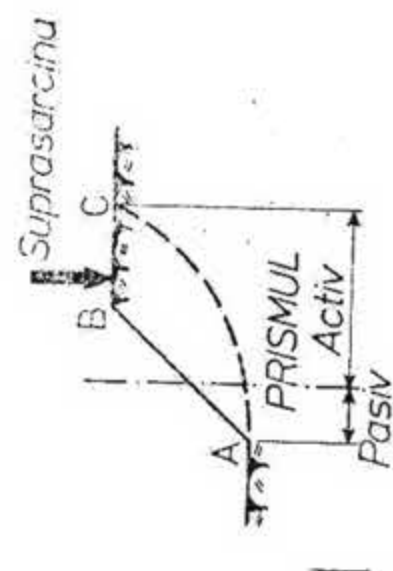
Fig. XVI.106. Dependenta stabilității taluzelor de elementele sale geometrice — valoarea unghiului θ .

zului (tabelul XVI.33), de tehnologia curentă de extragere (tabelul XVI.34). Elementele geometrice, unghiul și înălțimea taluzului care asigură o deplină stabilitate trebuie să fie evaluate și pe considerentul siguranței și a condițiilor de exploatare (omogenitatea grosimii rocilor sterile și a utilului din fiecare treaptă; bermele amplasate pe formațiuni rezistente; o bună folosire a utilajului, concordanța parametrilor lor cu

Tabelul XVI.32 (continuare)

2

dimensiunile frontului, extragerea treptei pe întreaga înălțime etc.), tabelul XVI.34. Taluzele suportă o gamă mare de suprasarcini, (fig. XVI.107) care trebuiesc estimate în prealabil printr-o fructuoasă colaborare inginer-minier-cercetător-proiectant. Bermele sînt mijloace constructive care ne stau la îndemînă pentru creșterea rezervei de stabilitate a taluzelor (fig. XVI.108), deoarece fiecare treaptă are panta θ_0 sau



5° Procedul de extragere cu explozivi (cantitatea de exploziv, monografia de perforare-împușcare).

Grupa factorilor de factură geometrică și tehnologică

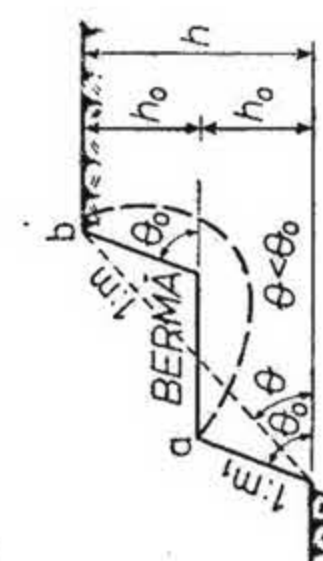


Fig. XVI.107. Acțiunea sarcinilor exterioare asupra taluzului.
Fig. XVI.108. Bermele ca mijloace de creștere a rezervei de stabilitate a taluzelor.

(1: m_0) panta medie a taluzului prevăzut cu berme fiind mai mică decît panta treptei ($\theta < \theta_0$) rezerva de stabilitate este mai mare; mai mult, creșterea aceasta este datorată și faptului că aceste berme cad întotdeauna în prismul pasiv și ca urmare acțiunea masei Q de rocă devine favorabilă stabilității. Șocul exploziilor reduce rezistența rocii pînă la pierderea stabilității, prin fisurile create pînă la circa 20–50 m în interiorul masivului.

Tabelul XVI.33

Unghiul de taluz funcție de durata lui de existență

Tipul și natura rocii	Valoarea maximă a unghiului de taluz e_{max} [grade]	
	Taluz de scurtă durată	Taluz de lungă durată
Roci magmatice și metamorfice omogene	80–90	55–65
Roci magmatice obișnuite	70–80	
Roci sedimentare monolitice	50–60	50–55
Roci metamorfice de tipul șisturilor cristaline; roci sedimentare: gresii și grezoase	40–50	—
Roci sedimentare: argile, marne, marne argiloase, argile-nisipoase, argile-marnoase	35–45	25–45 în funcție de umiditate

Tabelul XVI.34

Valori ale înălțimii treptelor întâlnite în practica curentă

Tipul și natura rocii	Procedee-tehnici de extragere	Înălțimea treptelor-taluzelor h [m]
Roci aluvionare clastice și cu coeziune foarte mică	Extragere manuală	4
Roci de tărie medie și mare	Prin perforare-împușcare și încărcare cu excavatoare	20–30
	Prin împușcări masive (încărcături concentrate, găuri de sondă, camere de minare) sau utilaje mecanice de tăiere	25–60
Roci eruptive de tărie foarte mare	Prin perforare și împușcări masive	nelimitată

4.2. FORMA SUPRAFEȚELOR DE RUPERE ȘI PROCEDEE DE CALCUL ALE ACESTORA

Pierderea stabilității taluzelor se finalizează prin ruperea acestora. Ruperea este prezentată diferit și în multe moduri. În baza situațiilor celor mai frecvente, întâlnite practic în exploatarea la zi, prezentările modului de rupere redată de literatură pot fi încadrate sinoptic în următoarele tipuri:

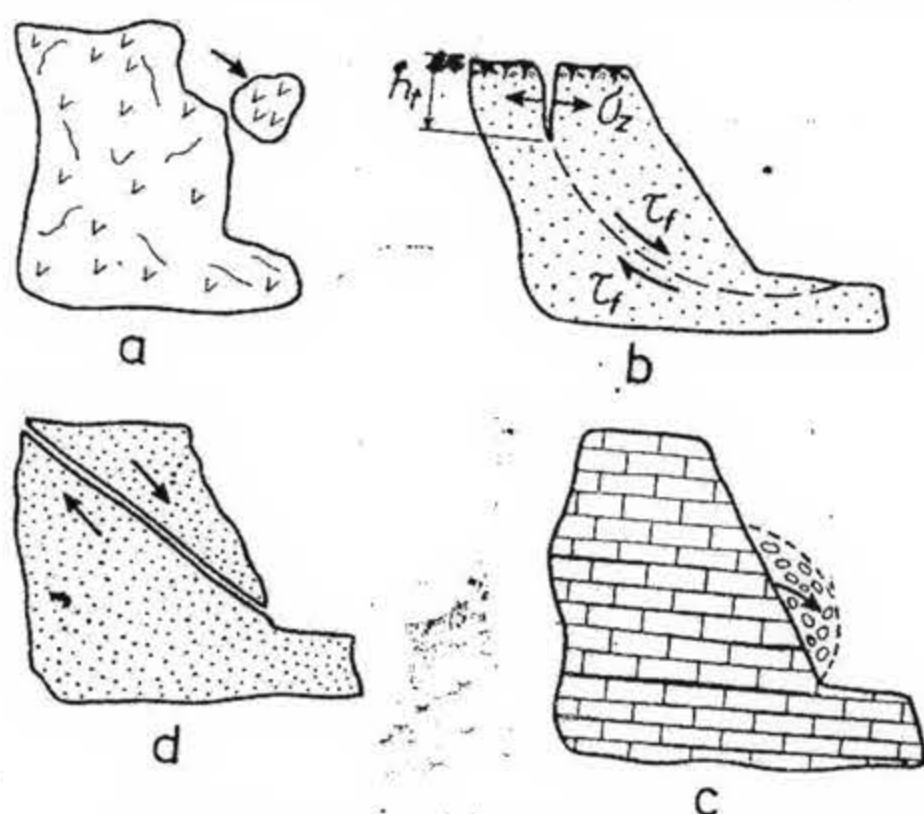


Fig. XVI.109. Tipuri de rupere a taluzelor.

1) căderi de blocuri (fig. XVI.109, a), caracteristic rocilor foarte fisurate, care în realitate sînt constituite din blocuri slab legate între ele și care în cazul cînd panta taluzului este mai mare decît unghiul de echilibru natural al blocurilor, acestea se vor desprinde. Cauza unor asemenea desprinderi este reducerea coeziunii dintre blocuri în urma acțiunii agenților atmosferici;

2) alunecări pe suprafețe curbe (fig. XVI.109, b), caz în care ruperea se produce prin rotirea mai mare de rocă de-a lungul unei suprafețe curbe de o anumită formă (cilindrică, poligonală). Cauza unor astfel de ruperi este neconcordanța între geometria taluzului și rezistența de rupere la forfecare, care conduce la concentrări de tensiune secundară apreciable, ce implică modificări neelastice în masivul de rocă;

3) desprinderi de blocuri, caracteristic rocilor uniforme, tari, neafectate de micro și macro fisuri ce ar permite ruperi plane. Ruperea în acest caz se produce prin fragmentarea rocii în punctele taluzelor unde apar concentrări maxime de tensiune și pierderi locale ale coeziunii. Un asemenea tip de rupere se produce fără o mișcare de volum de rocă și zonele incipiente de rupere nu pot fi stabilite decît numai prin cunoașterea stării secundare de tensiune și a concentrărilor acesteia;

4) ruperea plană după suprafețe geologice de minimă rezistență (fig. XVI.109, d și c).

4.3. CALCULUL STABILITĂȚII TALUZELOR

Atunci cînd pierderea stabilității taluzelor are loc prin fenomenul de alunecare în lungul unor suprafețe nete de rupere se aplică o serie de metode, mai simple sau mai complexe, care analizează echilibrul maselor de rocă clastică sau slab coezivă (nisipuri, grohotișuri, roci argiloase, pămînturi etc.) situate deasupra suprafeței de rupere.

În marea lor majoritate, metodele folosite în prezent în proiectare consideră suprafața de rupere ca avînd o formă plană și circular-cilindrică. Metodele simple stabilesc condițiile generale de echilibru ale taluzelor. Ele sînt bazate pe schematizări accentuate ale fenomenelor complexe de pierdere a stabilității. Cu toate acestea, asemenea metode permit evidențierea factorilor principali care condiționează apariția și dezvoltarea procesului de pierdere a stabilității.

4.3.1. STABILITATEA TALUZELOR EXECUTATE ÎN MASIVE DE ROCĂ CLASTICĂ

Se consideră un taluz executat într-un masiv de rocă clastică, caracterizat de $c = 0$ și $\varphi \neq 0$ (fig. XVI.110) și o particulă M de rocă, pe suprafața AB a acestui taluz, a cărei greutate este G . Asupra particulei acționează forțele T și T' (fig. XVI.110 a). Dacă taluzul este stabil, unghiul de taluz θ a fost ales în mod corespunzător atunci particula M va fi în echilibru. Condiția de echilibru limitată poate fi redată sub forma:

$$T = T' \quad (4.1)$$

unde: $T = G \sin \theta$ ca și componentă a greutății particulei și care tinde să dezechilibreze particula; $T' = N \cdot f = N \cdot \tan \varphi = G \cos \theta \tan \varphi$ ca și forța de frecare ce se opune dezechilibrării; φ este unghiul de frecare interioară, iar $f = \tan \varphi$ coeficient de frecare.

Înlocuind în relația (4.1) expresiile celor două forțe se obține: $\tan \varphi = \tan \theta$, adică: $\theta = \varphi$.

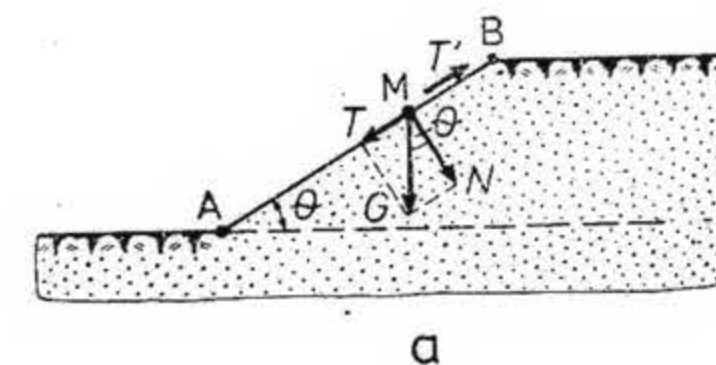
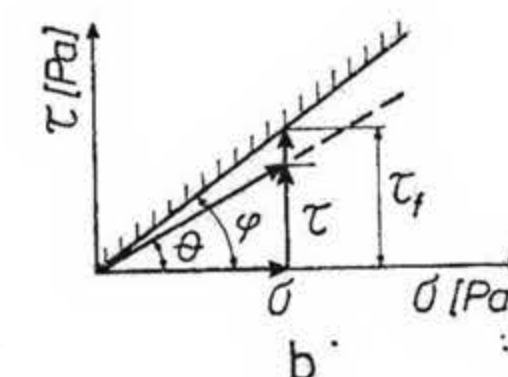


Fig. XVI.110. Taluz executat în roci clastice.



Plecînd de la expresiile eforturilor $\sigma = \frac{G}{A} \cos \theta$ și $\tau = \frac{G}{A} \sin \theta$ rezultă expresia unghiului de deviere (fig. XVI.110, b):

$$\tan \beta = \frac{\tau}{\sigma} = \tan \theta \quad (4.2)$$

și $\theta = \beta$, adică unghiul de deviere este egal cu cel al taluzului $\theta = \beta$. Conform definiției factorului de stabilire (F_s) sau a coeficientului de siguranță, η rezultă că:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\frac{\tau_f}{\sigma}}{\frac{\tau}{\sigma}} = \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \theta} \quad (4.3)$$

La limită $T = T'$, adică $\theta = \beta$ și $F = 1$, rezultă că panta maximă a unui taluz stabil într-un masiv de rocă clastică nu depinde decât de unghiul de frecare interioară φ , adică: $\text{tg } \theta_{\text{critic}} = \text{tg } \theta_{\text{max}} = \text{tg } \varphi$ și $\theta_{\text{critic}} = \theta_{\text{max}} = \varphi$ unde θ_{critic} este unghiul critic al taluzelor executate în roci clastice.

4.3.2. STABILITATEA TALUZELOR EXECUTATE ÎN MASIVE DE ROCĂ SLAB COEZIVĂ ȘI CU COEZIUNE MICĂ

În această situație (fig. XVI.111) roca este caracterizată prin $c \neq 0$ și $\varphi \neq 0$, iar ruperea se presupune că se realizează în conformitate cu ipoteza lui Coulomb, adică:

$\tau = c + \sigma \text{tg } \varphi$. Plecînd de la condiția de echilibru limită (4.1) în contextul că $\frac{T'}{A} = \frac{\tau_f}{A} = \sigma \text{tg } \varphi + c$ și $T = N \text{tg } \theta$ sau $\tau_f = \text{tg } \theta$, conform ipotezei de rupere considerate, rezultă după împărțire cu A (suprafața de alunecare) că:

$$\tau = \tau_f$$

adică:

$$\text{tg } \theta = \left(\text{tg } \varphi + \frac{c}{\sigma} \right) \quad (4.4)$$

Dar cunoscînd definiția unghiului de tăiere ψ (fig. XVI.111) ea fiind:

$$\text{tg } \psi = \left(\text{tg } \varphi + \frac{c}{\sigma} \right) \quad (4.5)$$

rezultă că: $\text{tg } \theta = \text{tg } \psi$ și $\theta = \psi$. Pentru masa de rocă de pe suprafața taluzului AB , factorul de stabilitate este:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\text{tg } \psi}{\text{tg } \theta} = \frac{\text{tg } \varphi + \frac{c}{\sigma}}{\text{tg } \theta} \quad (4.6)$$

Admițînd ipoteza că la limită efortul normal se transmite hidrostatic, $\sigma = \gamma_a \cdot H$, atunci factorul de stabilitate devine:

$$F_s = \frac{\text{tg } \varphi + \frac{c}{\gamma_a H}}{\text{tg } \theta} \quad (4.7)$$

iar panta taluzului în punctul considerat:

$$\text{tg } \theta = \frac{dz}{dx} = \frac{1}{F_s} \left(\text{tg } \varphi + \frac{c}{\gamma_a \cdot h} \right) \quad (4.8)$$

expresie ce evidențiază factorii care condiționează stabilitatea taluzului și că valoarea unghiului de taluz este o variabilă în funcție de stabilitate și înălțimea taluzului h .

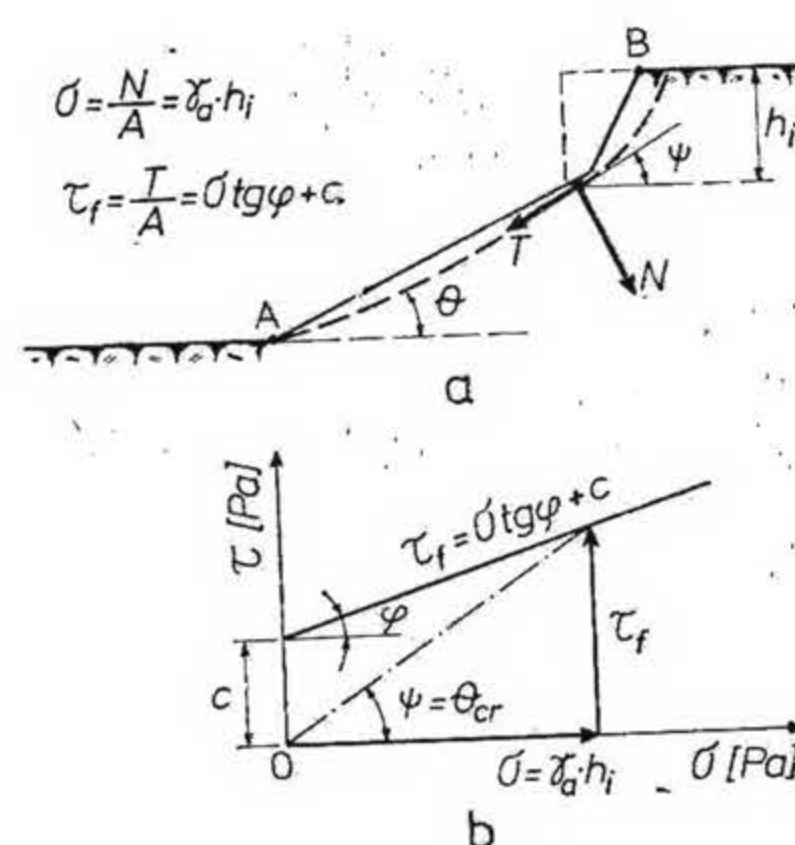


Fig. XVI.111. Taluz executat în roci slab coezive și cu coeziune mică.

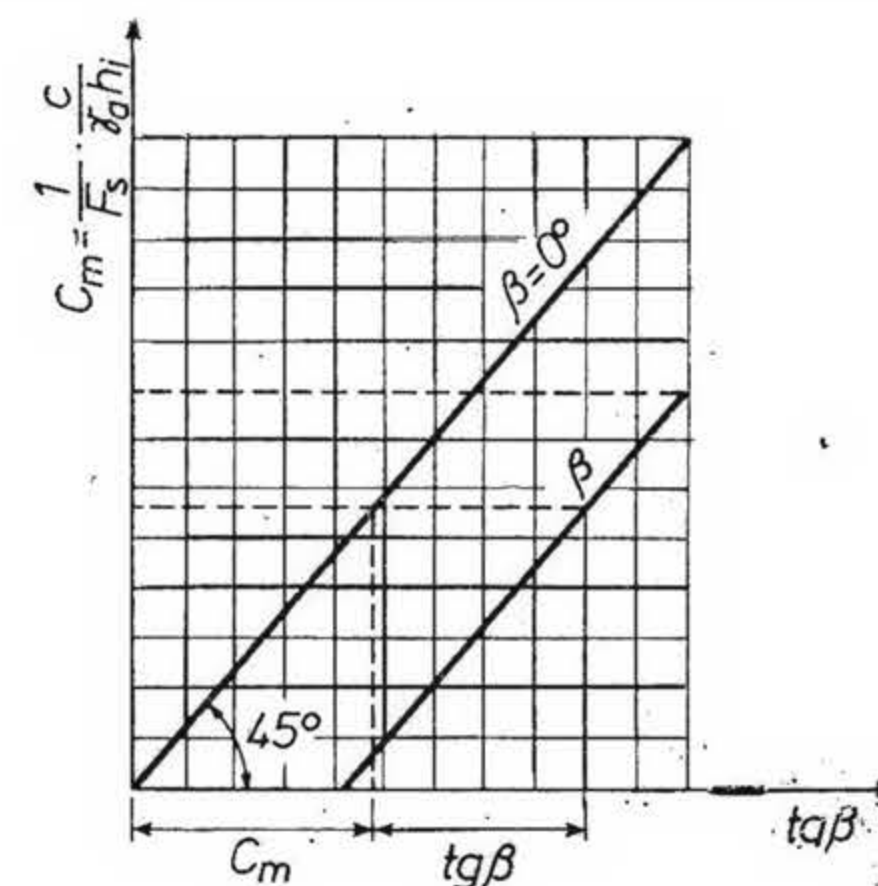


Fig. XVI.112. Abaca expresiei $\text{tg } \beta = \text{tg } \varphi + C_m$

Dacă se notează cu C_s coeficientul de stabilitate ca fiind egal cu expresia adimensională (parametru fundamental care influențează stabilitatea taluzelor în roci coezive):

$$C_s = \frac{c}{\gamma_a h} \text{ rezultă că: } \text{tg } \theta = \frac{1}{F_s} (\text{tg } \varphi + C_s) \text{ sau dacă: } \text{tg } \beta = \frac{\text{tg } \varphi}{F_s} \text{ și } C_m =$$

$= \frac{C_s}{F_s}$ atunci: $\text{tg } \theta = \text{tg } \beta + C_m$, expresie care se pretează la reprezentarea grafică sub forma unei abace (fig. XVI.112) ce permite determinarea unuia din termeni, cunoscînd pe ceilalți doi. De exemplu, în cazul proiectării se cunosc: parametrii c și φ ; greutatea specifică aparentă γ_a , înălțimea taluzului h , se alege un factor de stabilitate $F_s = 1,1$; $1,2$ și se determină panta necesară admisă θ a taluzului; în cazul verificării unui taluz existent se cunosc: θ ; c ; φ ; γ_a și se determină factorul de stabilitate F_s . Din ecuația diferențială (4.8), prin integrare, se obține ecuația curbei taluzului stabil pentru cazul rocilor slab coezive și cu coeziune mică de tipul pămînturilor și a rocilor argiloase

$$x = \frac{F_s}{\text{tg } \varphi} \left[h - \frac{c}{\gamma_a \text{tg } \varphi} \ln \left(h + \frac{c}{\gamma_a \text{tg } \varphi} \right) \right] \quad (4.9)$$

care la partea superioară a taluzului are alura unei linii drepte verticale, deci pentru:
 $h = 0$; $\frac{dh}{dx} = \infty$ și $\theta = 90^\circ$. Practic această curbă se circumscrie unui contur poligonal format din o înălțuire de drepte pe înălțimi limitate (v. fig. XVI.111) mai ales în cazul masivelor sedimentare — stratificate.

4.3.3. STABILITATEA TALUZELOR AFECTATE DE PREZENȚA PÎNZELOR ACVIFERE ÎN MASIVUL DE ROCĂ ÎN CARE SÎNT EXECUTATE

În cazul în care taluzul, executat într-un masiv de rocă clastică sau slab coezivă de tipul pământurilor sau a rocilor argiloase, este străbătut de o pînză acviferă, aceasta va influența condițiile de stabilitate. Fie un astfel de taluz (fig. XVI.113) străbătut de linii de curent de apă subterană și care devin tangente la suprafața taluzului (adică $i = \sin \theta$), adică suprafața apei coincide cu suprafața taluzului AB . În acest caz eforturile pe planele paralele cu suprafața taluzului A vor fi:

$\sigma = \gamma_{a \text{ sat.}} \cdot h \cos^2 \theta$; $\tau = \gamma_{a \text{ sat.}} \cdot h \sin^2 \theta$; $u = \gamma_w \overline{AB} \cos \theta = \gamma_w h \cos^2 \theta$ unde u este presiunea apei din porii rocii.

În cazul rocilor clastice, deci $c = 0$, condiția Coulomb sau rezistența la forfecare-tăiere devine $\tau_f = (\sigma - u) \tan \varphi$; deci $\tau_f = (\gamma_{a \text{ sat.}} \cdot h \cos^2 \theta - \gamma_w \cos^2 \theta) \tan \varphi$, iar $\tau = \gamma_{a \text{ sat.}} \cdot h \cdot \sin \theta \cos \theta$ și la limită $\tau = \tau_f$, adică:

$$\tan \theta_{\text{critic}} = \tan \theta_{\text{max}} = \frac{\gamma_{a \text{ sat.}} - \gamma_w}{\gamma_{a \text{ sat.}}} \tan \varphi \quad (4.10)$$

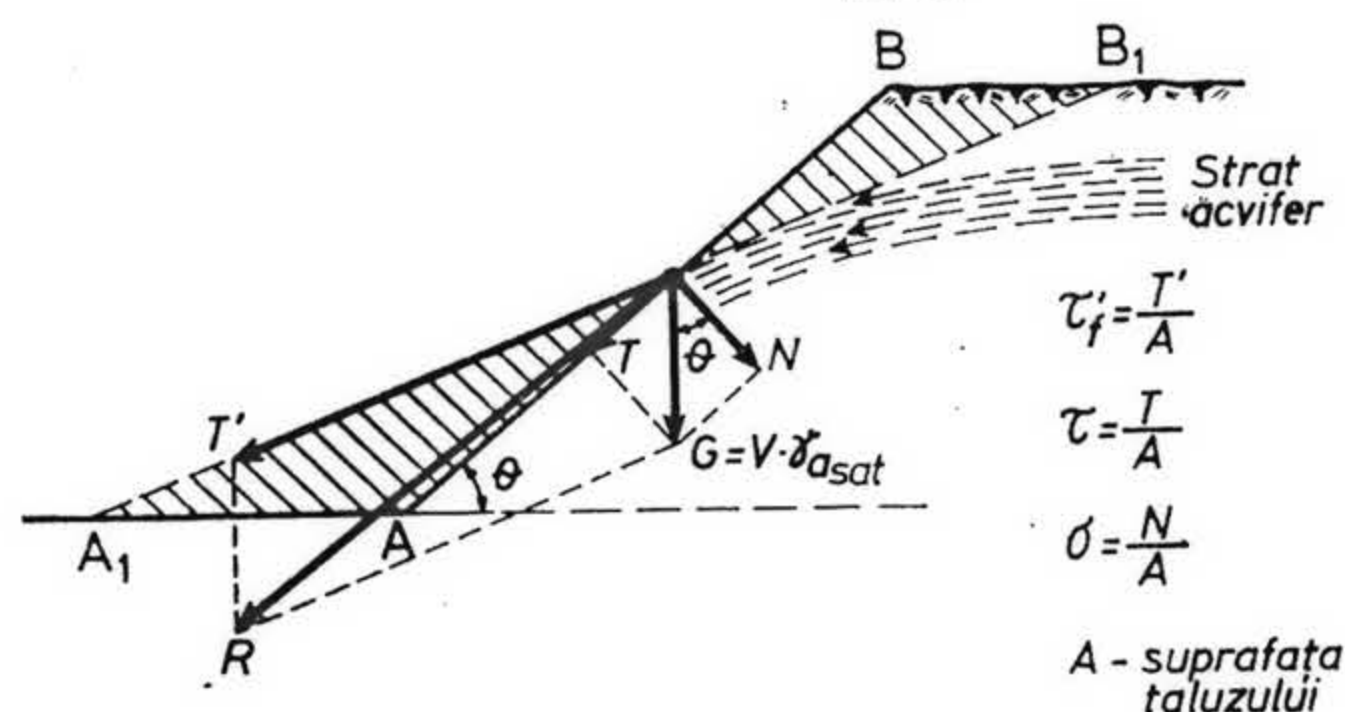


Fig. XVI.113. Taluz afectat de prezența pînzelor acvifere.

Deci prin prezența apei, panta taluzului stabil se reduce, de exemplu dacă $\theta = 45^\circ$ și $\gamma_{a \text{ sat.}} = 2,7 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$ atunci $\theta = 32,4^\circ$. În cazul rocilor slab coezive sau cu coeziune mică ($c = 0$ și $\varphi \neq 0$) expresia unghiului de taluz va fi dedusă în mod asemănător sub forma:

$$\tan \theta_{\text{critic}} = \tan \theta_{\text{max}} = \frac{c}{h \cdot \gamma_a \cos^2 \theta_{cr}} + \frac{\gamma_{a \text{ sat.}} - \gamma_w}{\gamma_{a \text{ sat.}}} \tan \varphi \quad (4.11)$$

și:

$$\frac{c}{\gamma_a h} \cos^2 \theta_{cr.} (\tan \theta_{\text{critic}} - \frac{\gamma_{a \text{ sat.}} - \gamma_w}{\gamma_{a \text{ sat.}}} \tan \varphi) \quad (4.12)$$

Condiția de echilibru devine: $T'' = T' + T$

$$\text{unde: } T'' = \frac{N'' \tan \psi}{F_s} = \frac{V \cdot \gamma_{a \text{ sat.}} \tan \psi}{F_s} \cos \theta; \quad T = V \cdot \gamma_{a \text{ sat.}} \sin \theta; \quad N = V \cdot \gamma_{a \text{ sat.}} \cos \theta;$$

$$T' = V \cdot \gamma_w \cdot \sin \theta,$$

în care: $\gamma_{a \text{ sat.}}$ este greutatea specifică aparentă a rocii submersate sau saturate; V — volumul particulei de rocă considerate; i — panta hidrolică sau gradientul hidrolic. Deci:

$$\frac{V \cdot \gamma_{a \text{ sat.}} \tan \psi}{F_s} \cos \theta = V(\gamma_{a \text{ sat.}} + \gamma_w) \sin \theta \quad (4.13)$$

sau:

$$\tan \theta = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{\gamma_{a \text{ sat.}}}{\gamma_{a \text{ sat.}} + \gamma_w} \tan \psi = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{\gamma_{a \text{ sat.}}}{\gamma_{a \text{ sat.}} + \gamma_{\text{sat}}} (\tan \varphi + C_s) \quad (4.14)$$

iar dacă $\gamma_{a \text{ sat.}} = \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ atunci:

$$\tan \theta = \frac{1}{2F_s} (\tan \varphi + C_s) \quad (4.15)$$

Pe lângă efectul hidrodinamic care reduce panta taluzului stabil la jumătate, prezența apei conduce și la micșorarea efortului efectiv, modificând expresia coeficientului de stabilitate C_s adică:

$$C_s = \frac{c}{\sigma'} = \frac{c}{\sigma - u} = \frac{c}{\gamma_a h - u} = \frac{c}{\gamma_a h (1 - f_u)} \quad (4.16)$$

unde: f_u este factorul presiunii apei în pori (u) adică $u = f_u \gamma_a h$

4.3.4. METODE APROXIMATIVE

Metodele aproximative de analiză a stabilității taluzelor de roci slabe se bazează în principal pe observațiile asupra ruperii taluzelor. Astfel, toate observațiile efectuate asupra pierderii stabilității taluzelor executate în roci cu coeziune slabă și coeziune mică au arătat că ruperea se produce de obicei pe suprafețe curbe ce pot fi asimilate cu suprafețe cilindrice circulare. Ca urmare, stabilitatea taluzelor poate fi analizată și prin determinarea celei mai critice suprafețe de rupere într-o secțiune transversală

a taluzului. Grupa acestor metode își găsește aplicabilitate numai în cazul rocilor suficient de plastice, în cazul rocilor din grupa celor ductile la care de fapt efortul mediu de forfecare constituie factorul important ce condiționează ruperea.

Se consideră o asemenea suprafață de rupere (fig. XVI.114, a). Momentul de rupere M_r este momentul greutății segmentului G față de centrul O adică $G \cdot x$. Momentul de stabilitate M_s este produsul dintre rezistența la forfecare τ_f a rocii, de-a lungul suprafeței de rupere, lungimea arcului L și raza cercului R considerat.

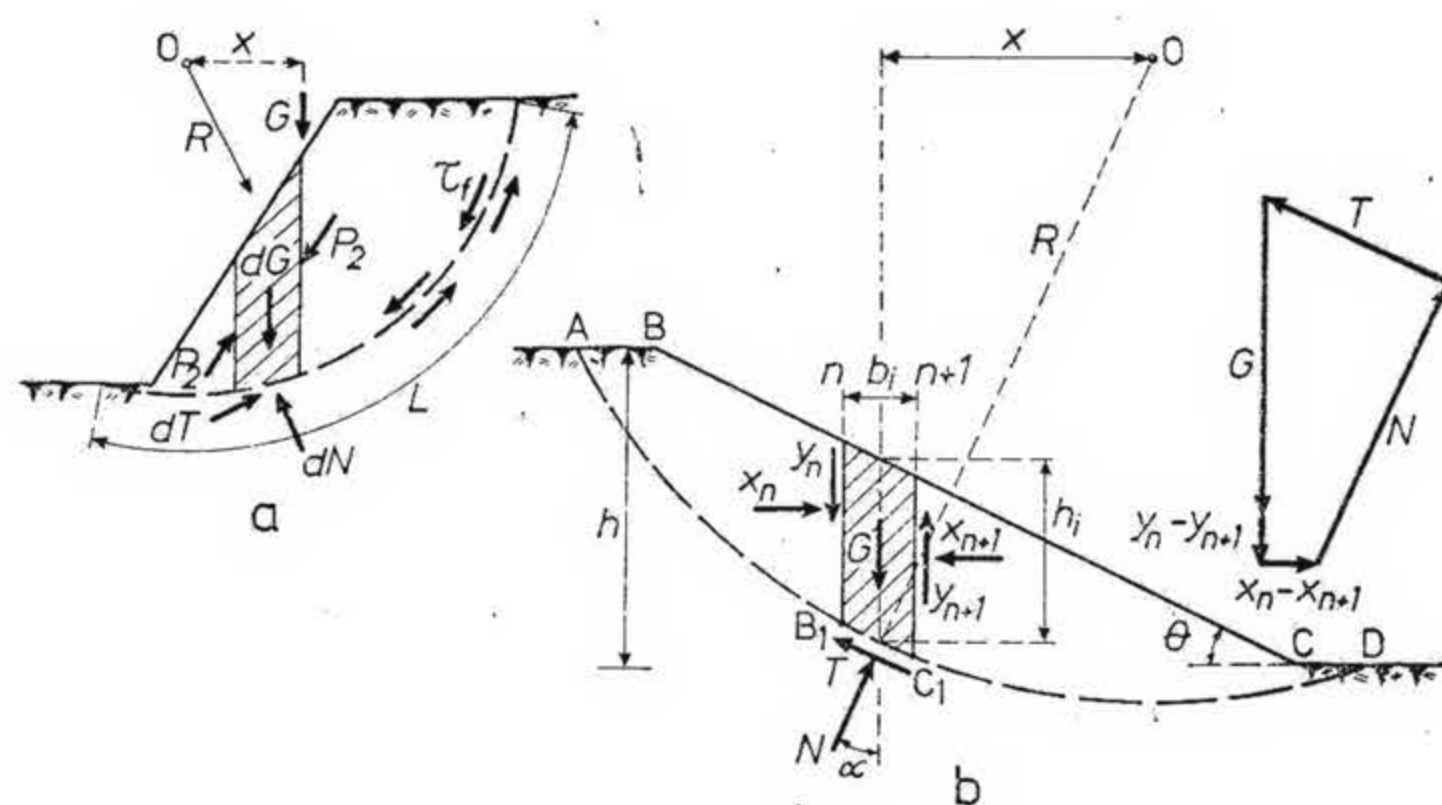


Fig. XVI.114. Principiul de calcul al stabilității taluzelor prin metoda aproximativă (procedul fișilor).

În situația considerată, rezistența la forfecare τ_f variază în lungul arcului de cerc, datorită variației efortului unitar normal σ și, ca urmare, arcu de cerc se împarte într-o serie de fișii verticale de lățimi limitate b_i și înălțimi medii h_i (fig. XVI.114, b). O asemenea fișie este supusă acțiunii următoarelor forțe: 1) greutatea fișiei $dG = \gamma_a h \cdot b = \gamma_a h' \cos \alpha$; 2) componenta normală a reacțiunii pe suprafața ipotetică de rupere dN sau, în cazul existenței și a unei pînze acvifere, forța efectivă intergranulară va fi $dN_1 = dN - U$, unde $U = u \cdot l$ sau $U = f_u \cdot \gamma_a h$; 3) componenta tangențială a reacțiunii pe suprafața ipotetică de rupere dT ; 4) cele două forțe care acționează pe fețele laterale ale fișiei considerate P_1 și respectiv P_2 (fig. XVI.114, a) și care sînt de fapt nedeterminate.

Cu referire la aceste forțe există o serie de ipoteze simplificatoare. Astfel Kne y le consideră egale și de sens opus, ceea ce simplifică poligonul forțelor (fig. XVI.114, b); Bishop presupune o echilibrare numai a componentelor verticale (fig. XVI.114, b); Spencer consideră că forțele P_1 și P_2 au același suport dar mărimi diferite etc. Astăzi calcularea acestor forțe poate fi realizată prin intermediul calculatoarelor electronice. Literatura de specialitate oferă o serie de metode și metodologii atît clasice cît și bazate pe procedee numerice de calcul. Se precizează că neglijarea de la început a acestor forțe nu conduce decît la o eroare de cel mult 10%, fapt acceptabil din punct de vedere practic.

La echilibru: $M_r = M_s$ adică: $\sum dT \cdot R = \sum (dN \tan \varphi + c \cdot l) R$, iar coeficientului de siguranță va fi:

$$\eta = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum (dT)}{\sum (dN \tan \varphi + c \cdot l)} \quad (4.17)$$

și el se confundă cu F_s în ipoteza că $F_s = \text{constant}$ pentru toate criteriile. Deci:

$$\eta = F_s = \frac{\tau}{\tau_f} \quad (4.18)$$

și poate fi exprimat în funcție de coeziune:

$$\eta = \frac{F_s c}{\gamma_a h} \quad (4.19)$$

Grupa acestor metode neglijează cea de a treia dimensiune, adică rezistența capetelor segmentului cilindric de rupere. Ca urmare a acestui fapt, indiferent de modul cum sînt determinați parametrii considerați în calcule (în situ sau laborator), rezultatele obținute sînt mai mari decît cele reale. Calea de laborator însă conduce la dimensionări prea acoperitoare. Din analiza acestui tip de metode rezultă că valoarea critică a unghiului de taluz sau maximă este funcție de următorii parametri adimensionali:

$$\theta_{critic} = \theta_{max} = F \left(\frac{c}{\gamma_a h}; \frac{q}{\gamma_a h}; \frac{dl_f \varphi}{h}; \frac{dz_f}{h}; \varphi \right) \quad (4.20)$$

(fig. XVI.115) unde dl_f este adîncimea pînzei acvifere; dz_f — adîncimea de fisurare față de berma taluzului; q — supraîncărcarea bermei taluzului ca sarcină uniform repartizată.

Deoarece de multe ori suprafața de rupere diferă sensibil de una circular cilindrică (cazul rocilor neomogene, a rocilor cu intercalații mai slabe produs al alterărilor etc.), s-au elaborat metode în care suprafața de alunecare are o formă oarecare — poligonală. Asemenea metode analizează din aproape în aproape, prin calcule laborioase,

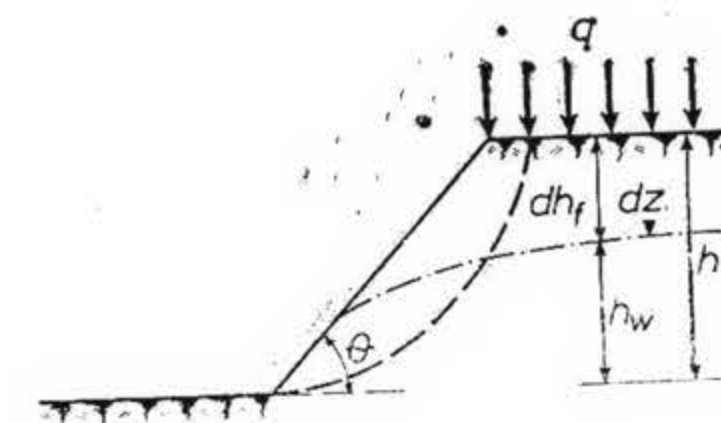


Fig. XVI.115. Valoarea critică a unghiului θ și factorii ce o influențează.

pînă la obținerea unui factor de stabilitate minim, căruia îi corespunde suprafața de alunecare critică. Cînd $F_s = 1$ suprafața corespunzătoare este cea reală sau de alunecare potențială. Metodele se pretează la utilizarea calculatoarelor. În ultimii ani se remarcă

tendința de a folosi la calculul stabilității taluzelor principiile variaționale. În acest context s-a plecat de la ideea de a stabili prin calcul forma suprafeței de rupere $y(x)$ pentru un profil dat al terenului; $f(x)$ rezultă din condiția că funcționalul reprezentat prin factorul de stabilitate F_s să fie minim, adică:

$$F_s = \frac{\sum \int F_i(x; y; y') dx}{\sum \int G_i(x, y, y') dx} \quad (4.21)$$

Asemenea metode au avantajul că elimină necesitatea de a verifica mai multe suprafețe potențiale de rupere.

4.4. MĂSURI DE PREVENIRE ȘI CONTROL ÎN CAZUL EXECUTĂRII TALUZELOR

Cu toate aspectele considerate în faza de proiectare, pentru asigurarea stabilității taluzelor se impun și în continuare, în faza de verificare a proiectului de execuție și de exploatare, să fie luate o serie de măsuri de prevenire și control a ruperii acestor lucrări. În general, pierderea stabilității și ruperea taluzelor este o consecință a creșterii stării secundare de tensiune și a reducerii rezistenței rocii. Prin urmare, se impune luarea de măsuri pentru evitarea acestor efecte.

Astfel, adoptarea cu strictețe a unghiurilor de taluz proiectate și urmărirea să nu se mărească în timp asemenea pante, mai ales când la baza taluzului se află o rocă mai slabă și care poate fi extrasă prin excavații necorespunzătoare, ducând la subminarea taluzului.

Rezistența rocii se poate reduce sub efectul exploziilor folosite la excavare. Ca urmare, taluzul trebuie bine curățit (copturit), trebuie luate în considerare mărirea numărului de găuri de mină și reducerea cantității de exploziv pentru evitarea afinării rocii și a fisurării ei în adâncime, chiar dacă această operație poate costa mai mult.

Deteriorarea suprafeței taluzului se poate produce și prin fenomenul de îngheț-dezghet, a acțiunii apei și aerului asupra rocii, a umflării produselor de alterare existente în fisuri. Printr-o drenare a apei de suprafață la creasta taluzului, asemenea fenomene se pot evita.

Concentrările de eforturi pot crește în urma depozitării materialului excavat pe creasta taluzelor. Depozitarea materialelor trebuie realizată pînă la o distanță, față de creasta taluzului, de circa 1/2 din înălțimea lui.

Drenarea apei subterane constituie un factor esențial în menținerea stabilității taluzelor, cu toate că o coborîre efectivă a nivelului apei subterane în masive de rocă este foarte dificilă, atît din punct de vedere tehnic, cît și economic.

5. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA PILIERILOR DE SIGURANȚĂ ȘI PLANȘEELORE

5.1. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

5.1.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA CALCULULUI DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

În cazul unor zăcăminte de substanțe minerale utile (sare gemă, săruri de potasiu și magneziu, minereuri de fier, gips, cretă etc.) precum și la unele zăcăminte de roci utile (calcare, marne, caolin, argile etc.) s-a aplicat și continuă să se aplice, în mod curent, metoda de exploatare cu camere și pilieri (definitivi sau temporari).

Odată cu dezvoltarea și modernizarea tehnicii de forare a găurilor de mină, s-a trecut la extinderea metodei de exploatare cu camere și pilieri, și la extragerea altor tipuri de zăcăminte de minereu, fiind cunoscută ca o metodă de mare producție și productivitate. Această metodă a căpătat o largă extindere în cazul claselor de metode de exploatare:

- cu goluri remanente cu extragerea în subetaje sau pe toată înălțimea etajului;
- cu înmagazinarea minereului în spațiul exploatat;
- cu surparea rocilor înconjurătoare.

Susținerea spațiului exploatat cu pilieri de siguranță (temporari sau definitivi) reprezintă unul din procedeele de dirijare a presiunii miniere cele mai simple și mai vechi aplicate în minerit.

Privită din punct de vedere tehnic, această metodă de dirijare a presiunii poate fi aplicată atunci când minereul și rocile înconjurătoare au o tărie și o stabilitate mare. De asemenea, această metodă se mai poate aplica și atunci când nu se dorește provocarea unor deplasări și surpări ale rocilor din acoperișul zăcămintului, care să afecteze terenul de la suprafață, oricare ar fi natura substanțelor minerale utile respective.

Pilierii de siguranță definitivi, cu rol de susținere a spațiului exploatat, în cadrul metodei de exploatare aplicată la extragerea, în general, a zăcămintelor de săruri și unele materiale de construcții au forme geometrice regulate și sînt, de asemenea, dispuși într-o rețea geometrică regulată.

În categoria pilierilor de siguranță definitivă mai intră și aceia necesari pentru protecția puțurilor de mină și a obiectivelor industrial-sociale și naturale de deasupra perimetrelor miniere în exploatare.

Pilierii de siguranță temporari întîlniți în cadrul metodelor de exploatare din clasele amintite, denumiți *pilieri de etaj*, se lasă deasupra, dedesubtul sau în jurul lucrărilor principale de pregătire, cu scopul de a susține atît lucrările de abataj, cît și de pregătire.

În cadrul pilierilor temporari se întîlnesc și *pilieri de bloc*, lăsați între camerele vecine și păstrați numai pe perioada exploatării etajului.

Pentru asigurarea stabilității camerelor și pentru micșorarea pierderilor mari de substanță minerală utilă, *pilierii definitivi* de susținere a camerelor trebuie să fie dimensionați. Pilierii de siguranță ai puțurilor de mină, sau ai obiectivelor de la supra-

față se trasează prin construcții geometrice, pe baza cunoscutei unghiurilor de scufundare.

Pentru stabilirea dimensiunilor optime ale pilierilor de siguranță definitiv de susținere a camerelor de exploatare se impune ca de la început să se cunoscă următoarele elemente de calcul:

— felul, mărimea și repartizarea stărilor de tensiune din interiorul pilierilor de susținere

— caracteristicile fizico-mecanice ale pilierilor de susținere;

— felul și mărimea deformărilor pe care le suferă pilierii de susținere din cauza eforturilor la care sînt supuși.

Din observațiile practice, experimentările *in-situ* și de laborator, se admite astăzi că asupra pilierilor de siguranță de susținere a camerelor de exploatare, acționează numai eforturi statice de compresiune datorite greutateii lor proprii și greutateii unei anumite părți din zăcămintul exploatat și din rocile înconjurătoare. Sarcina dezvoltată de rocile ce apasă pe pilierul de siguranță este denumită *presiune litostatică* și se datorește forțelor de gravitație.

Presiunea litostatică dă naștere în interiorul pilierilor de siguranță, de susținere, la anumite stări de tensiune a căror mărime și distribuție este funcție de forma și dimensiunile lor, caracteristicile lor geologice și petrografice și caracteristicile fizico-mecanice ale materialului din care sînt constituiți.

Se admite astăzi, în domeniul mecanicii rocilor, în care se consideră că masivul de roci se comportă ca un corp elastic, omogen și izotrop, că starea de tensiune primară se poate exprima într-un sistem de coordonate triaxiale rectangulare prin relațiile (3.1) și (3.2).

Odată cu începerea exploatării zăcămintului considerat, cu crearea camerelor și formarea pilierilor de susținere, se modifică fundamental atât mărimea, sensul și distribuția tensiunilor care acționează asupra tavanului, vetrei și pereților camerelor cît și repartizarea tensiunilor din interiorul pilierilor de susținere.

Pilierii de siguranță, de susținere a camerelor, sînt constituiți din roci ce reprezintă corpuri neomogene, anizotrope cu caracteristici geologico-petrografice diferite.

Încercările de laborator efectuate de M. S t a m a t i u în stabilirea rezistențelor mecanice ale rocilor au confirmat faptul că valorile acestora depind de forma și mărimea epruvetei încercate.

Pilierii de susținere ai camerelor vor avea, de asemenea, valori ale caracteristicilor mecanice de rezistență dependente de forma și mărimea proiectată. Felul și mărimea deformărilor pe care le suferă pilierii de susținere este rezultatul eforturilor de compresiune la care aceștia sînt supuși.

Mărimea deformărilor este funcție de modul de aproximare a comportamentului materialului constitutiv al pilierilor: elastic, elasto-plastic sau plastic. Existența în timp a pilierilor sub acțiunea solicitărilor la care sînt supuși impune, de asemenea, luarea în considerare, în stabilirea mărimilor deformărilor, a caracteristicilor reologice, în principal a fluajului rocilor din care sînt constituiți pilierii.

O clasificare a procedeelor de calcul și verificare trebuie să aibă la bază, felul, mărimea și repartizarea tensiunilor din interiorul pilierilor de susținere, în dependență cu caracteristicile mecanice. În funcție de acest criteriu, procedeele de calcul și de verificare elaborate pînă în prezent pot fi clasificate în patru grupe:

A. Procedece bazate pe ipoteza repartiției uniforme și a rezistenței constante la compresiune. În această grupă intră procedeele de calcul și verificare elaborate de Tournaire, Haton de la Goupillière, L. D. Șeviaikov.

B. Procedece bazate pe ipoteza repartiției uniforme a tensiunilor în pilieri și a rezistenței la compresiune, variabile cu forma și dimensiunea pilierilor. Sînt cuprinse, în această grupă, procedeele de verificare și calcul propuse de K. Kegel, M. Stamatiu.

C. Procedece bazate pe ipoteza repartiției neuniforme a tensiunilor, în pilieri și a parabolei de presiune. Aceste procedee aparțin autorilor M. M. Protodiakonov, S. S. Davidov, M. Stamatiu, P. M. Țimbarevici, K. V. Ruppeneit.

D. Procedece bazate pe modelarea matematică a stărilor de tensiune și deformare pe baza legilor de dependență date de mecanica corpurilor solid deformabile. În această grupă intră metodele de calcul propuse de P. M. Țimbarevici, K. V. Ruppeneit, care au la bază teoria elasticității, precum și metodele moderne actuale de modelare a tensiunilor și deformațiilor prin metoda elementelor finite.

Dintre procedeele de calcul amintite, se vor trata în continuare numai acelea care au o largă aplicabilitate și ale căror rezultate au fost confirmate de practica inginerescă.

5.1.2. PROCEDEE DE CALCUL ȘI VERIFICARE A DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

Procedeul de calcul propus de M. Stamatiu. Face parte din grupa procedeelor de calcul bazate pe ipoteza repartiției neuniforme a tensiunilor în pilieri și a parabolei de presiune, cu aplicare la exploatarea sării pe cale solidă, cu camere mici.

Autorul, în elaborarea procedurii sale de calcul, admite ipotezele lui Ritter și Coulomb referitoare la modul de repartizare a eforturilor datorite rocilor înconjurătoare asupra tavanului și pereților camerelor și anume (fig. XVI.116):

— o anumită parte din pilierul de susținere de lățime d_2 este supus unui efort de compresiune, egal cu greutatea întregii coloane de roci pînă la suprafața terenului;

— părțile din pilier, situate în apropierea pereților camerelor, sînt supuse la eforturile datorite greutateii corpurilor parabolice care se formează deasupra tavanului camerelor și care tind să producă ruperea prin alunecare a pilierului după suprafețele AE , respectiv $A'E'$ înclinate cu un unghi φ față de orizontală.

Pe baza celor arătate, lățimea pilierului de susținere se poate calcula cu relația:

$$d_1 = d_2 + 2h \operatorname{ctg} \varphi \quad (5.1)$$

în care: d_1 este lățimea stîlpului, m; h — înălțimea camerei, m.

În urma încercărilor de laborator, autorul a stabilit relația de dependență a rezistenței de rupere la compresiune, funcție de dimensiunile epruvetei încercate, de forma:

$$R'_c = R_c \sqrt{\frac{l}{h}} \quad (5.2)$$

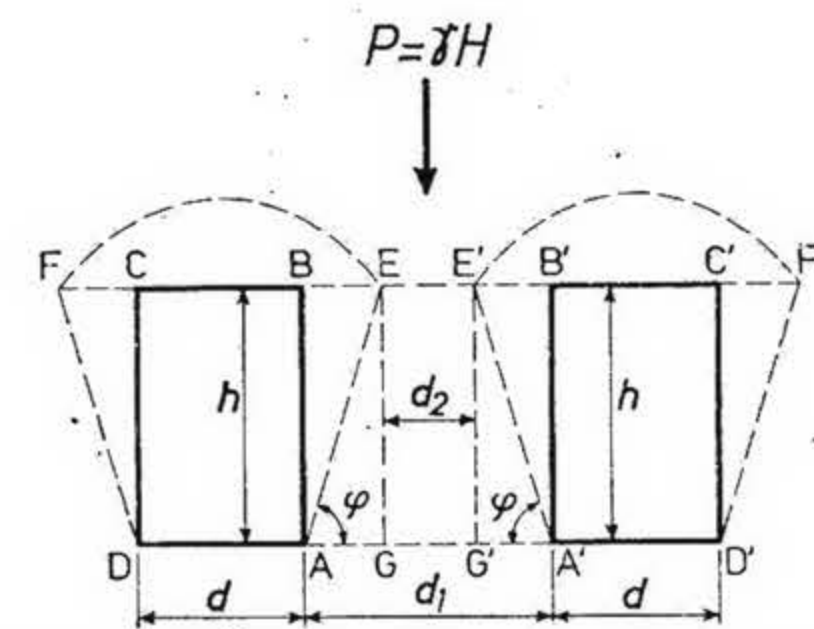


Fig. XVI.116. Schema cu elementele de calcul ale pilierilor de susținere (după M. Stamatiu).

în care: R'_c este rezistența de rupere la compresiune a prisme cu secțiune pătrată, daN/cm²;

R — rezistența de rupere la compresiune a epruvetelor în formă de cub, confecționate din același material ca și prismele, daN/cm²;

l — lățimea epruvetei, cm;

h — înălțimea epruvetei, cm.

Pilierului de susținere GEE'G, de forma unei prisme cu lățimea d_2 și înălțimea h , i se poate aplica relația (5.2).

În acest caz, condiția de rezistență este:

$$Pd_2^2 = R'd_2^2 = R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} d_2^2 \text{ sau } P = \gamma_a H \leq R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} \quad (5.3)$$

La limită se va obține:

$$\gamma_a H = R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} \text{ sau } d_2 = \frac{\gamma_a^2 H^2 h}{R_c^2} \quad (5.4)$$

Înlocuind relația (5.4) în relația (3.2) se obține:

$$d_1 = \frac{\gamma_a^2 H^2 h}{R_c^2} + 2h \operatorname{ctg} \varphi = \left(\frac{\gamma_a^2}{R_c^2} H^2 + 2 \operatorname{ctg} \varphi \right) h \quad (5.5)$$

unde: γ_a este greutatea volumetrică medie a coloanei de roci de la pilierul de susținere pînă la suprafața terenului, N/cm³; H — adîncimea de exploatare, m; φ — unghiul de frecare interioară a rocilor.

Procedul de calcul al lui L. D. Șeviaikov. Face parte din grupa procedeelor de calcul avînd la bază ipoteza repartiției uniforme a tensiunilor în pilierii de susținere și a rezistenței constante la compresiune.

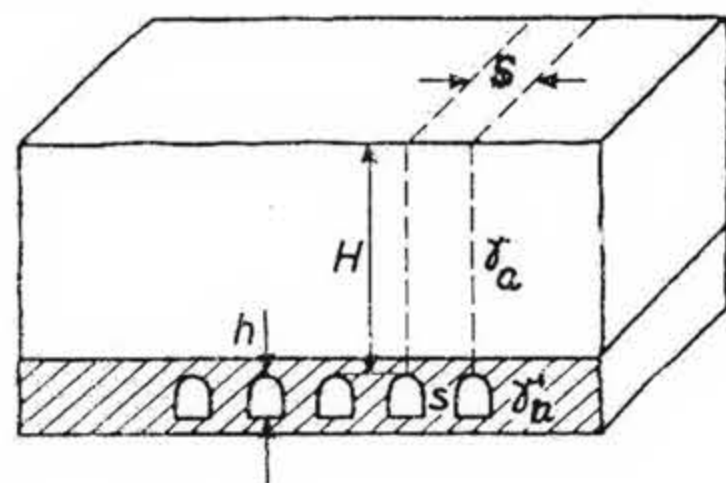


Fig. XVI.117. Schema cu elementele de calcul ale pilierilor de susținere (după L. D. Șeviaikov).

Se consideră că sarcina asupra pilierului de susținere este dată de greutatea întregii coloane de roci pînă la suprafața de la zi, iar repartizarea acestei sarcini în secțiune orizontală a pilierului este constantă.

Condiția de stabilitate a pilierului, conform schemei de calcul adoptată, este dată de relația (fig. XVI.117):

$$S \cdot H \gamma_a + s \cdot h \gamma'_a = s \frac{\sigma_c}{n} \quad (5.6)$$

în care: H este adîncimea de la suprafață pînă la partea superioară a pilierului de susținere, m;

h — înălțimea pilierului de susținere, m;

S — suprafața secțiunii orizontale a prisme de roci acoperitoare ce revine unui pilier de susținere, m²;

s — suprafața secțiunii orizontale a pilierului, în m²;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor acoperitoare, MN/m³;

γ'_a — greutatea volumetrică a materialului pilierului, MN/m³;

n — coeficient de siguranță, cu valori între 1,5–3;

σ_c — rezistența medie de rupere la compresiune a rocii din pilier, MN/m².

Din relația (5.6) se poate deduce:

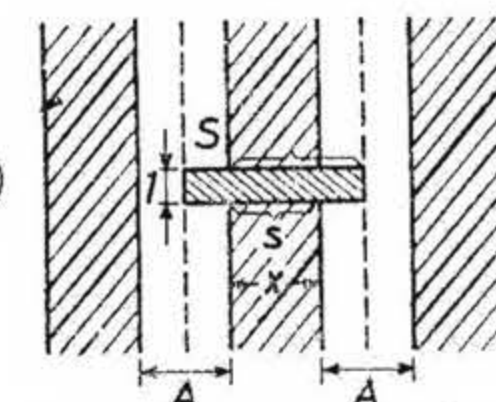
$$\frac{S}{s} = \frac{\sigma_c}{n H \gamma_a} - \frac{\gamma'_a h}{\gamma_a H} \quad (5.7)$$

În funcție de dimensiunile camerelor de exploatare proiectate, prin exprimarea geometrică a raportului S/s și înlocuirea în relația (5.7) se obțin relațiile de calcul pentru diferite forme de pilieri de susținere.

— Pilieri lungi continui (fig. XVI.118):

$$\frac{S}{s} = \frac{A + x}{x}$$

$$x = \frac{A}{\frac{\sigma_c}{n H \gamma_a} - \frac{h \gamma'_a}{H \gamma_a} - 1}$$



(5.8)

Fig. XVI. 118. Pilieri lungi continui.

— pilieri scurți cu secțiune pătrată (fig. XVI.119):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)^2}{x^2} \quad (5.9)$$

$$x = \frac{A}{\sqrt{\frac{\sigma_c}{n \cdot H \cdot \gamma_a} - \frac{h \gamma'_a}{H \gamma_a} - 1}}$$

— Pilieri scurți cu secțiune dreptunghiulară, înconjurați de camere cu lățime constantă (fig. XVI.120):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)(A + L)}{x \cdot L} \quad (5.10)$$

$$x = \frac{\frac{A^2}{L} + A}{\frac{\sigma_c}{n \cdot H \gamma_a} - \frac{h \gamma'_a}{H \gamma_a} - \frac{A}{L} - 1}$$

— Piliери scurți cu secțiune dreptunghiulară, înconjurați de camere cu lățime diferită (fig. XVI.121):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)(B + L)}{x \cdot L}$$

$$x = \frac{A + \frac{AB}{L}}{\frac{\sigma_c}{n \cdot H \cdot \gamma_a} - \frac{h\gamma'_a}{H\gamma_a} - \frac{B}{L} - 1} \quad (5.11)$$

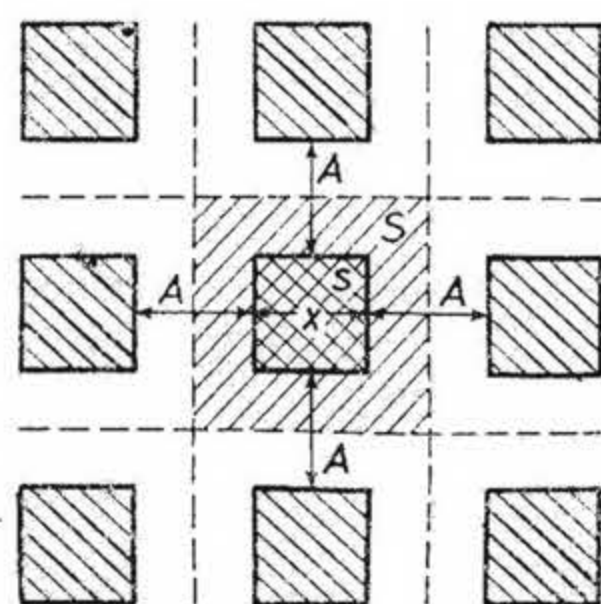


Fig. XVI.119. Pilieri scurți cu secțiune pătrată.

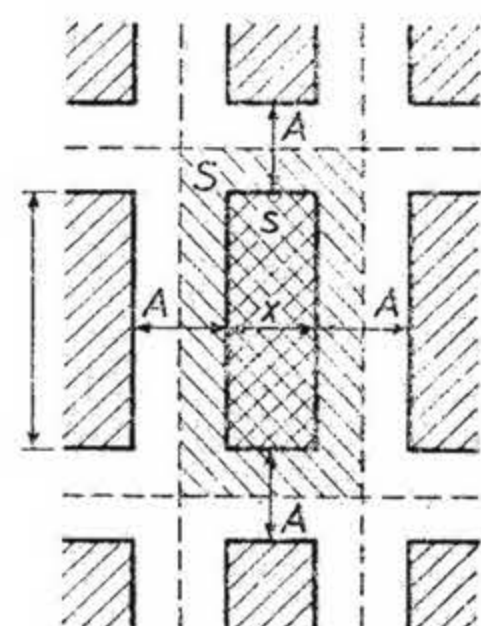


Fig. XVI.120. Pilieri dreptunghiulari, înconjurați de camere cu lățime constantă.

unde: A, B sînt dimensiunile camerelor de exploatare, m; L este lungimea camerelor de exploatare, m; x — lățimea pilierilor de susținere, m.

Relațiile stabilite mai sus de autor sînt de dimensionare, însă practic s-a demonstrat că pentru a obține rezultate corecte, se impune ca valorile σ_c și n să fie u dicios alese și să rezulte din încercări de laborator și observații practice.

Procedeul de verificare propus de M. Stamatiu. Relația propusă de autor pentru verificarea dimensiunilor pilierilor de susținere are la bază ipoteza cercetătorului francez *Tournaire*. Se consideră, că rezistența de rupere la compresiune a pilierilor să fie mai mare, sau cel puțin egală cu sarcina de compresiune la care aceștia sînt supuși, sarcină datorită greutateii terenului acoperitor și a substanței minerale utile din planșeul de protecție superior, cum și a greutateii lor proprii (fig. XVI.122).

Din principiul de calcul enunțat mai sus, autorul a stabilit relația:

$$S\gamma_a(H - e) + S\gamma_{a1}e + s\gamma_{a1}h \leq s\sigma_c \quad (5.12)$$

în care: s este suprafața totală în secțiune orizontală a tuturor stîlpilor, egală cu: $s = m \cdot s_1$ [m²];

S — suprafața cîmpului de exploatare, m²;

s_1 — suprafața în secțiune orizontală a unui pilier, m²;

m — numărul pilierilor de aceeași formă;

H — adîncimea de la suprafață pînă la tavanul camerelor, m;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor acoperitoare, MN/m³;

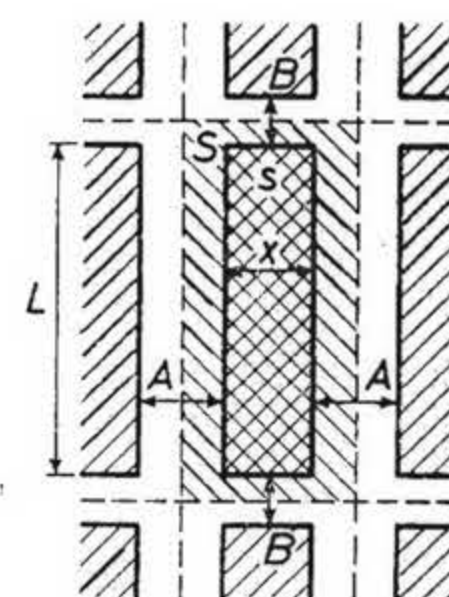


Fig. XVI.121. Pilieri dreptunghiulari, înconjurați de camere cu lățime diferită.

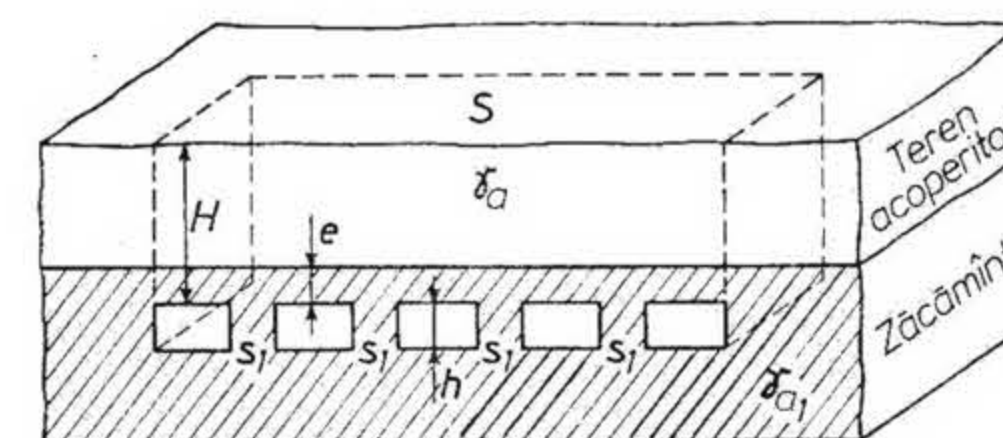


Fig. XVI.122. Schemă de calcul a pilierilor de susținere, după procedeul de verificare a lui M. Stamatiu.

γ_{a1} — greutatea volumetrică a rocii din pilier, MN/m³;

e — grosimea medie de protecție de deasupra camerelor de exploatare, m;

h — înălțimea pilierilor de susținere, m;

σ_c — rezistența medie efectivă de rupere la compresiune a rocii din pilieri, MN/m²;

n — coeficient de siguranță cu valorile 1,5—3 recomandate de autor;

Din relația (5.12) se deduce:

$$\frac{s}{S} = \frac{\gamma_a H + e(\gamma_{a1} - \gamma_a)}{\sigma_c - \gamma_{a1} h} \text{ sau } \frac{s}{S} = \frac{\gamma_a H + e(\gamma_{a1} - \gamma_a)}{\frac{\sigma_c}{n} - \gamma_{a1} h} \quad (5.13)$$

La pilierii de susținere de formă cubică sau prismatică, pentru determinarea valorii lui σ_c , autorul recomandă, pe baza a numeroase încercări de laborator, folosirea relațiilor:

— pentru cuburi:

$$\sigma_c = \sigma'_c + k \sqrt{l} \quad (5.14)$$

— pentru prisme cu secțiune pătratică:

$$\sigma_c = (\sigma'_c + k) \sqrt{\frac{l}{h}} \quad (5.15)$$

în care: σ'_c este rezistența de rupere la compresiune a unui cub cu latura infinit mai mică, determinată prin încercări monoaxiale, daN/cm²;

k — constantă a materialului, cu valori între 43—50, pentru diferite tipuri de sare gemă;

l — lungimea muchiei cubului sau lățimea prisme pătrate, cm;

h — înălțimea prisme cu secțiune pătrată, cm.

Pentru exactitatea calculului, folosind relațiile (5.14, 5.15) se impune ca raportul $h/l < 15$.

Dacă în urma calculului efectuate cu relația (5.13) rezultă că $s/S = 1$, adică $s = S$, respectiv suprafața orizontală a tuturor pilierilor de susținere este egală cu suprafața cîmpului de exploatare, teoretic zăcămintul respectiv nu mai poate fi exploatat prin metode subterane obișnuite.

Din relația (5.13) se poate deduce, în acest caz, adîncimea maximă H_m pînă la care se pot efectua — teoretic, sau practic — exploatări cu camere și pilieri într-un zăcămint dat:

$$H_m \text{ (teoretic)} = \frac{\sigma_c + \gamma_a e - \gamma_{a1}(h + e)}{\gamma_a} \quad (5.16)$$

$$H_m \text{ (practic)} = \frac{\frac{\sigma_c}{n} + \gamma_a e - \gamma_{a1}(h + e)}{\gamma_a} \quad (5.17)$$

În paragrafele de mai sus, au fost expuse două procedee de calcul a dimensiunilor pilierilor de susținere și un procedeu de verificare. Avîndu-se în vedere atît experiența practică a exploatării zăcămintelor de sare gemă din țara noastră, cît și rezultatele calculului confirmate de practică și efectuate de M. Stamatiu în lucrarea „Problema dimensionării stîlpilor la minele din R.S.România” — metodologiile expuse pot fi folosite în continuare în proiectarea exploatării zăcămintelor de sare în stare solidă.

De asemenea, aceste metode pot fi folosite și la stabilirea dimensiunilor pilierilor dintre camere și de panou sau de bloc.

5.1.3. CALCULUL DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SUSȚINERE LA EXPLOATAREA SĂRII PRIN DIZOLVARE CINETICĂ

În exploatarea sării gume s-au extins pe scară largă metodele de exploatare prin dizolvare cinetică. În funcție de procesul tehnologic aplicat, exploatarea prin dizolvare a sării are loc în excavații de formă cilindrică cu tavanul plan, boltit sau boltă rețezată, separate între ele prin pilieri de susținere, care, în plan orizontal, au forme în funcție de modul de așezare în rețea geometrică. a cilindrilor de dizolvare. Pe scară largă se practică așezarea cilindrilor de dizolvare în rețea pătratică sau triunghiulară (fig. XVI.123).

Dimensiunile pilierilor de susținere depind de diametrul cilindrilor de dizolvare și de distanța dintre axele lor verticale. Pentru calculul dimensiunilor acestor stîlpi nu se mai pot aplica relațiile și formulele stabilite de autori pentru metoda de exploatare cu camere și pilieri de susținere, deoarece aceste relații și formule se referă la pi-

lieri de formă prismatică cu secțiune orizontală pătrată sau dreptunghiulară. În prezent, există, în această privință, numai posibilitatea de verificare la eforturi la compresiune a pilierilor de susținere cu dimensiuni prealabil alese.

În practica exploatării prin dizolvare a zăcămintelor de sare din țara noastră, la rezultate bune a condus procedeul de verificare propus de M. Stamatiu.

Procedeul de verificare propus de M. Stamatiu. Pentru stabilirea relației de verificare s-a impus condiția ca sarea din pilierii de susținere să nu se rupă sub acțiunea greutății planșeului de protecție de sare, a terenurilor acoperitoare (de deasupra acestuia), a greutății lor proprii și a contra-presiunii exercitate de saramura saturată aflată în cilindrii de dizolvare (fig. XVI.124).

Relația stabilită este de forma:

$$S \cdot H \cdot \gamma_a + s \cdot e(\gamma_{a1} - \gamma_a) + s \cdot h \gamma_a - (S - s) \gamma_{as} H \leq \frac{\sigma_c}{n} s \quad (5.18)$$

unde: S este suprafața cîmpului de exploatare, m²;

s — suprafața totală a stîlpilor de susținere, m²;

N — numărul cilindrilor de dizolvare în cîmpul de exploatare;

$S_e = S - s$ este suprafața totală a cilindrilor de dizolvare, m²;

$s_1 = \frac{S - s}{N} = \frac{S_e}{n}$ — suprafața în plan orizontal a unui cilindru de dizolvare, m²;

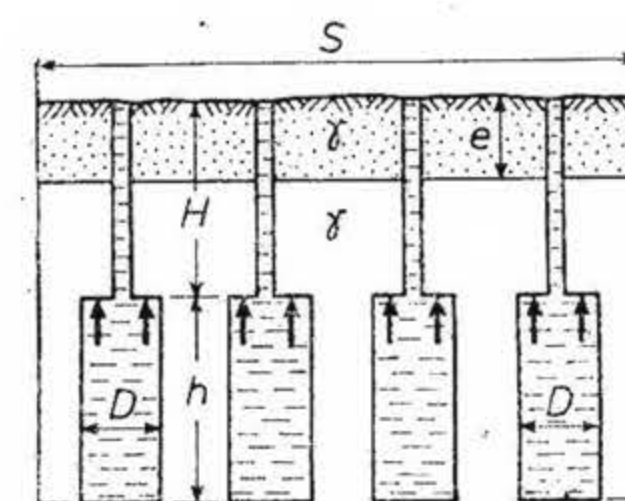


Fig. XVI.124. Procedeul de calcul și verificare a pilierilor dintre cilindrii de dizolvare, după M. Stamatiu.

H — adîncimea de la suprafață pînă la tavanul cilindrilor de dizolvare a unui etaj oarecare, m;

e — grosimea terenurilor ce acoperă zăcămintul de sare, m;

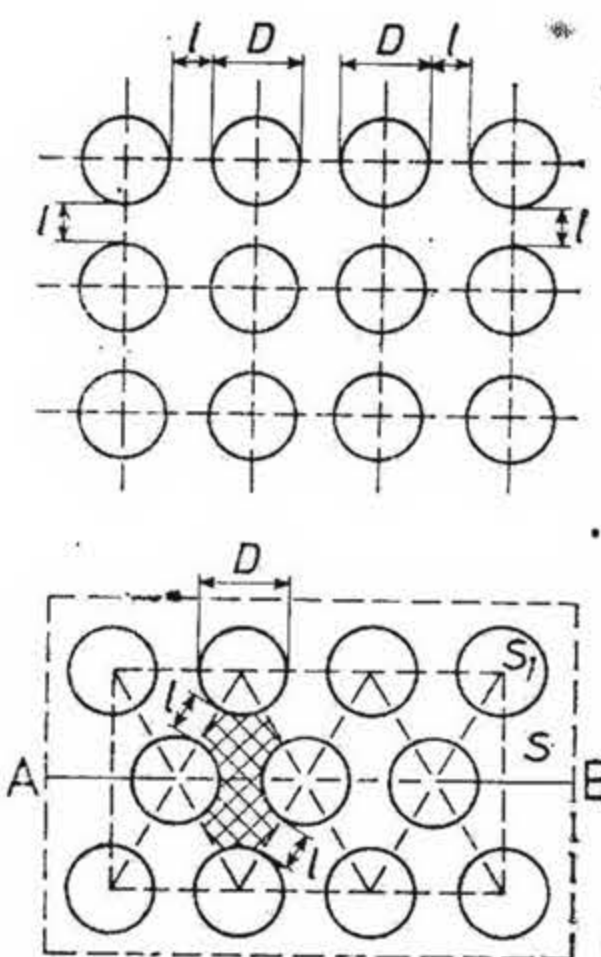


Fig. XVI.123. Distribuția cilindrilor de dizolvare în rețea pătratică sau triunghiulară.

h — înălțimea cilindrilor de dizolvare egală cu a pilierilor de susținere, m;
 γ_a — greutatea volumetrică a sării geme, MN/m³;
 γ_{a1} — greutatea volumetrică medie a terenurilor acoperitoare, MN/m³;
 γ_{as} — greutatea volumetrică a saramurii saturate, MN/m³;
 σ_c — rezistența de rupere la compresiune a sării din pilierul de susținere, MN/m²;
 n — coeficient de siguranță, se stabilește pe bază de experiență practică: $n = 15$ — dacă cilindrii de dizolvare nu sînt plini de saramură, $n < 5$ — dacă sînt plini cu saramură.

În cazul cînd $e = 0$ sau $\gamma_a = \gamma_{a1}$, ceea ce corespunde în cele mai multe cazuri condițiilor practice, relația (5.18) devine:

$$S \cdot H\gamma_a + s \cdot h\gamma_a - (S - s)\gamma_{as} H \leq \frac{\sigma_c}{n} s \quad (5.19)$$

de unde rezultă:

$$\frac{s}{S} = \frac{(\gamma_a - \gamma_{as})H}{\frac{\sigma_c}{n} - h\gamma_a - H\gamma_{as}} \quad (5.20)$$

Pentru calculul valorii lui σ_c , autorul recomandă folosirea relației (5.15), înțelegînd prin l distanța minimă dintre doi cilindri de dizolvare.

5.2. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA CAMERELOR DE EXPLOATARE ȘI GROSIMII PLANȘEELEOR DINTRE ETAJE

5.2.1. DESCHIDEREA CAMERELOR LA TAVAN

Procedeu lui Ritter. Conform ipotezei lui Ritter, presiunea care apasă asupra unei lucrări miniere orizontale este dată de relația:

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{\gamma_a d^2}{48\sigma_t} - \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \right) \quad (5.21)$$

în care: γ_a este greutatea volumetrică medie a rocilor din tavanul lucrării, MN/m³;
 d — deschiderea (lățimea) la tavan a lucrării subterane, m;
 σ_t — rezistența de rupere la tracțiune a rocii din tavan, MN/m².

Notînd: $\frac{\sigma_t}{\gamma_a} = u$ și înlocuind în relația de mai sus rezultă:

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \quad (5.22)$$

Deschiderea maximă la tavan a unei camere de exploatare rezultă din condiția:

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) = 0 \quad (5.23)$$

Din relația (5.23) rezultă, pentru d , trei valori

$$d_1 = 0 \text{ și } d_{23} = \pm u \sqrt{48} = \pm 4u \sqrt{3} = \pm 7u \quad (5.24)$$

Dintre aceste două rădăcini admisibilă este numai una: $d = +u\sqrt{48}$. Pentru valori ale lui $0 < d < u\sqrt{48}$ tavanul lucrării miniere nu trebuie susținut, deoarece presiunea asupra tavanului este egală cu zero.

În practică, în funcție de configurația zăcămintului, se proiectează exploatarea unor camere cu o deschidere la tavan mai mare ca cea maximă: $d > u\sqrt{48}$; atunci se impune boltirea tavanului. Înălțimea de boltire se determină din condiția limită, impunînd ca greutatea corpului parabolic, redus ca greutate prin boltirea tavanului, să fie egală cu forțele de coeziune după bolta de echilibru.

În acest caz, greutatea corpului parabolic cuprins între tavanul boltit și cel plan este:

$$P' = \frac{2}{3} \gamma_a d \cdot b \quad (5.25)$$

unde b este înălțimea de boltire a tavanului.

Condiția de echilibru a tavanului boltit va fi:

$$P - P' = 0 \quad (5.26)$$

Înlocuind în expresia (5.26) relațiile (5.23 și 5.25) se duce:

$$b = \frac{3}{2} \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \quad (5.27)$$

Procedeu de calcul al lui Protodiakonov. Presiunea litostatică exercitată asupra tavanului unei lucrări subterane orizontale executată în roci omogene, conform teoriei bolții echilibrului natural, după autor se exprimă cu relația:

$$P = \frac{4}{3} \cdot \gamma_a \frac{a^2}{f} \quad (5.28)$$

în care: a este semideschiderea la tavan a lucrării, m;

f — coeficientul de tăiere al rocii din tavan după Protodiakonov;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor din tavan, MN/m²;

Bolta echilibrului natural — după acest autor — este o boltă parabolică.

Lungimea arcului de parabolă ce delimitează bolta de echilibru, pentru o lungime egală cu 1 m a lucrării subterane și în cazul cînd raportul h/a este foarte mic, se

poate exprima cu aproximație prin relația:

$$2s = 2a \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{f} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{f} \right)^4 \right] \quad (5.29)$$

în care: s este lungimea arcului de parabolă;
 h — înălțimea bolții parabolice.

Considerându-se după autor $\frac{h}{a} = \frac{1}{f}$ și punând condiția — la limită — ca greutatea corpului parabolic să fie egală cu rezistența la tracțiune a acestui corp după bolta parabolică, se obține:

$$\frac{4}{3} \gamma_a \frac{a^2}{f} = 2a \sigma_t \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{f} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{f} \right)^4 \right]$$

sau

$$2a = 3f \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{f} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{f} \right)^4 \right] \quad (5.30)$$

Considerând pentru sare $f = 3$, din (5.30) rezultă:

$$2a \cong 9,5 \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \quad (5.31)$$

$$\text{După teoria lui Ritter, } d = 2a = u \sqrt{48} \cong 7 \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \quad (5.32)$$

Se poate trage concluzia că cele două procedee de calcul dau rezultate apropiate.

5.2.2. CALCULUL LUNGIMII UNEI CAMERE

Literatura de specialitate recomandă relația lui *H. Berger*, în care se pune condiția ca tavanul unei camere de exploatare la un zăcămint de sare să nu se surpe sub greutatea sării de deasupra lui.

Conform ipotezei enunțate la limită, relația este:

$$2H \cdot \sigma_f (d + l) = \gamma_a H \cdot d \cdot l \quad (5.33)$$

în care: d reprezintă lățimea camerei la tavan;
 l — lungimea camerei de exploatare;
 σ_f — rezistența de rupere la forfecare a sării;
 γ_a — greutatea volumetrică medie a sării.

În relația (5.33) expresia $\gamma_a H \cdot d \cdot l$ — reprezintă greutatea sării de deasupra camerei, iar expresia $2H \sigma_f (d + l)$ condiția de rezistență la forfecare a pereților camerei. Din relația (5.33) se poate determina lungimea unei camere:

$$l = \frac{d}{\frac{d \cdot \gamma_a}{2 \sigma_f} - 1} \quad (5.34)$$

5.2.3. CALCULUL ÎNĂLȚIMII UNEI CAMERE

Pentru calculul înălțimii unei camere de exploatare, literatura de specialitate indică mai multe metodologii, în funcție de forma acesteia și de ipoteza de manifestare a presiunii adoptată.

Extinderea metodelor de exploatare a sării geme pe cale uscată cu camere mici pătrate sau dreptunghiulare face posibilă folosirea relației lui *Ritter*, stabilită pe baza bolții de echilibru.

Relația stabilită de autor este de forma:

$$\frac{1}{2} \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \leq \sigma_f \cdot h \quad (5.35)$$

unde: d reprezintă deschiderea la tavan a camerei, m;

σ_f — rezistența de rupere la forfecare a rocii din tavanul camerei, MN/m²;

h — înălțimea camerei, m;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor din tavanul camerei, MN/m²;

$$u = \frac{\sigma_t}{\gamma_a};$$

σ_t — rezistența de rupere la tracțiune a rocii respective, MN/m².

Din relația (5.35) se poate determina înălțimea camerelor cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară în plan orizontal.

5.2.4. CALCULUL DIMENSIUNILOR PLANȘEULUI DINTRE CAMERE

Dezvoltarea exploatării pe verticală, în cazul extragerii zăcămintelor de grosime mare și foarte mare, implică lăsarea între etaje a planșeelor de siguranță, cu rolul de a mări siguranța în exploatare și crește stabilitatea pilierilor de susținere. Exploatarea etajelor decurge aproape în exclusivitate. În acest caz, singurele forțe care acționează asupra unui planșeu sînt greutatea sa proprie și greutatea relativ redusă a instalațiilor subterane (căi ferate, trolii, locomotive etc.).

Constructiv, planșeul dintre două camere se poate considera ca o placă groasă încastrată în pereții acestora. Pentru stabilirea dimensiunilor planșeelor dintre etaje, literatura de specialitate recomandă procedee de calcul și de verificare.

Calculul grosimii planșului. Pentru aceasta se aplică ecuația fundamentală a grinzii drepte cu secțiune constantă, încastrată la extremități, bazată pe ipotezele lui *Bernoulli* și *Navier*.

Calculul grosimii planșului rezultă din ecuația fundamentală, pentru cazul încovoierii, secțiunile periculoase fiind la punctele de încastrare:

$$M = \sigma_i \cdot W \quad (5.36)$$

unde: M este momentul încovoietor maxim;

W — modulul de inerție al secțiunii periculoase;

σ_i — rezistența de rupere la încovoierie a rocii din planșeu.

Pentru un planșeu cu lungimea egală cu unitatea:

$$M = \frac{1}{12} \gamma_a \cdot a \cdot D^2, \text{ iar } W = \frac{1}{6} a^2 \quad (5.37)$$

în care: γ_a — este greutatea volumetrică a rocii din planșeu;

a — grosimea planșului;

D — lățimea planșului egală cu deschiderea camerei.

Înlocuind valorile lui M și W în relația (5.36) se obține:

$$\frac{1}{2} \gamma_a \cdot a \cdot D^2 = \frac{1}{6} \sigma_i a^2$$

Din relația de mai sus, rezultă:

$$a = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_a}{\sigma_i} D^2 \quad (5.38)$$

Verificarea grosimii planșului. Verificarea grosimii unui planșeu cu dimensiuni date se face prin aplicarea relațiilor pentru plăci dreptunghiulare încastrate, încărcate uniform cu sarcina p datorită greutății proprii, pentru un raport al lungimii și lățimii

$$\frac{a}{b} = 1,5 \text{ respectiv } \frac{a}{b} = \infty \text{ și pentru } \mu = 0,3.$$

Relațiile de verificare se dau în tabelul XVI.35.

Semnificațiile notațiilor din tabel sînt:

σ_x — tensiunea după una din laturile plăcii, daN/cm²;

σ_y — tensiunea după latura a doua a plăcii, daN/cm²;

p — greutatea proprie a unui metru pătrat de placă, daN/cm²;

a — lungimea plăcii dreptunghiulare, cm sau m;

b — lățimea plăcii dreptunghiulare, cm sau m;

μ — coeficientul lui Poisson.

$$N = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \mu^2)} \quad [\text{daN cm}]$$

Tabelul XVI.35

Planșeu încastrat, fără suprasarcină

Raportul laturilor $\frac{a}{b}$	Săgeata f	Tensiunile în mijlocul plăcii		Tensiunea σ'_y în mijlocul laturii lungi
		σ_x	σ_y	
1,5	$0,0352 \frac{pb^4}{N}$	$-0,48 p \frac{b^2}{h^2}$	$-0,87 p \frac{b^2}{h^2}$	$1,81 p \frac{b^2}{h^2}$
∞	$0,0417 p \frac{b^4}{N}$	$-0,30 p \frac{b^2}{h^2}$	$-1,00 p \frac{b^2}{h^2}$	$2,00 p \frac{b^2}{h^2}$

Rezultatele calculelor tensiunilor cu relațiile din tabelul XVI.35 se vor compara cu rezultatele de rupere la eforturile respective a rocii din planșeu.

6. FENOMENELE DE MANIFESTARE DINAMICĂ A PRESIUNII MINIERE

În afara formelor de manifestare statică a regimului de presiune minieră (fig. XVI.125), în masivul de roci apar fenomene de distrugere dinamică, bruște, a unor zone de rocă sau zăcămint, solicitate de o stare de tensiune caracterizată de valori mari ale componentelor active. Asemenea fenomene, însă de amploare dezastruoasă și raportate la scară mare în scoarța terestră, cu efecte la suprafață și în subteran sînt cunoscute în ingineria seismică sub denumirea de *cutremure*. La scara intermediară a unei exploatare miniere, a unei lucrări sau a unui abataj acestea pot fi: exploziile de rocă și substanță minerală utilă sau șocurile miniere, erupțiile de rocă sau cărbune și gaze, viiturile de apă, gaze și nisipuri acvifere.

6.1. EXPLOZIILE DE ROCĂ ȘI SUBSTANȚĂ MINERALĂ UTILĂ SAU ȘOCURILE MINIERE

Sînt fenomene dinamice produse la zi sau în subteran, caracterizate prin fracturarea violentă a rocilor și deplasarea unor cantități mari de rocă sub formă de fragmente, de plăci sau blocuri desprinse din pereți, culcuș sau acoperiș (din taluzurile

de la zi) însoțite de un suflu sau undă de aer care străbate lucrările miniere, de zgomote clare audibile și de oscilații seismice ce se propagă în masivul înconjurător. Toate aceste manifestări au drept rezultat distrugerea rețelei de lucrări, a frontului de lucru, a susținerilor existente, a utilajelor etc.

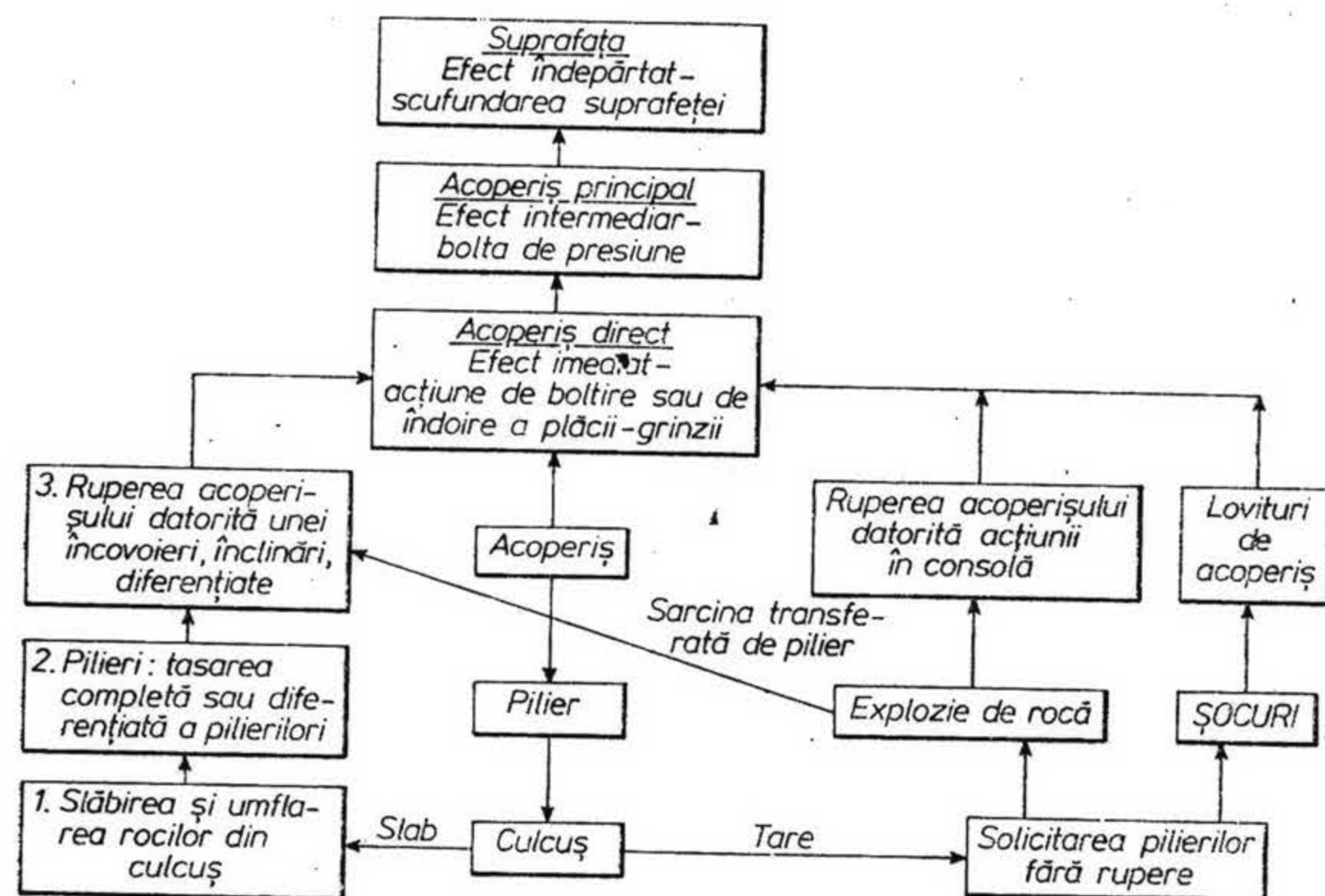


Fig. XVI.125. Comportamentul rocilor din jurul unei excavații miniere.

Cunoașterea cauzelor, a condițiilor și mecanismului de producerea acestor fenomene și elaborarea metodologiilor eficiente de prognoză, combatere-localizare a lor sînt probleme importante a căror actualitate sporește în mod continuu, fiind legată de creșterea adîncimii la care se desfășoară activitatea minieră.

Exploziile de rocă se manifestă sub diferite forme, în condiții diferite, la diferite etape de dezvoltare a excavațiilor miniere. Ele se produc atît în rocile înconjurătoare cît și în cazul zăcămintelor de substanță minerală utilă. Manifestarea unui astfel de fenomen este cunoscută sub o varietate de forme ca: exfolieri, dalări de fragmente de rocă puțin zgomotoase sau fragmentări de rocă de diferite intensități, prin producerea și deplasarea unor cantități de rocă de la cîtiva m³ pînă la sute și chiar mii de metri cubi, atît sub formă de praf și fragmente mărunte cît și sub formă de bucăți mari sau chiar blocuri întregi de rocă.

În literatura de specialitate sînt semnalate frecvent asemenea fenomene, iar observațiile făcute în minierile din țara noastră ne confirmă prezența acestora într-o serie de bazine ca Baia Mare, Valea Jiului, Cîmpulung-Muscel, la exploatarea zăcămintelor de minereu, sare, cărbune.

Din punct de vedere topologic, asemenea fenomene pot apărea în masa de rocă în zăcămintele de cărbuni, manifestîndu-se în lucrări miniere (orizontale, verticale) singulare, în lucrări miniere multiple în abataje, în pilieri. Astăzi se poate accepta următoarea clasificare a fenomenelor de tipul *exploziilor de rocă* (tabelul XVI.36.)

Tabelul XVI.36

Clasificarea „exploziilor de rocă”

Criteriul de clasificare	Clasa sau tipul exploziei	Caracterizarea fenomenului
Fizic	Explozii prin dalare sau explozii de tipul I	Apar ca rezultat al eliberării bruște a energiei înmagazinate. Ca manifestare sînt asemănătoare cu ruperea sau fragmentarea epruvetelor de rocă casantă supuse la compresiune monoaxială. Se întîlnesc în general în cazul pilierilor de substanță minerală utilă, rocă și în cazul lucrărilor miniere singulare.
	Explozii prin șoc sau explozii de tipul II	Apar ca rezultat al unei solicitări aplicate instantaneu. O asemenea situație devine posibilă în cazul cînd zăcămintul este cantonat în roci tari și foarte tari, care în urma avansării frontului se surpă la distanțe mari, creînd unde seismice (de presiune) ce solicită instantaneu roca din jurul spațiului exploatat. Se manifestă în general la abataje.
	Explozii prin efracție, respectiv spargere sau explozii de tipul III	O cauză a unor asemenea manifestări este prezența unor intercalații de rocă plastică (argile) în acoperișul sau culcușul de rocă tare sau foarte tare. În asemenea condiții intercalația de rocă rigidă comprimată zvîcnește spărgînd porțiunea de rocă sub formă de explozie de rocă.
Energetic sau cantitatea de energie	Microexplozii sau împușcarea rocilor	Sînt fracturări mărunte ale rocilor de pe suprafața lucrărilor miniere, desprinderea de bucăți de rocă din front, culcuș sau pereții abatajelor. Asemenea fenomene sînt însoțite de efecte sonore — audibile asemenea unor împușcături. Se pot produce și în profunzimea masivului, asemănător unui seism fără o exteriorizare, prin fracturare dar cu o dislocare a masivului undeva în interiorul lui. Cantitativ clasa acestor fenomene este caracterizată de o energie seismică de pînă la 10 jouli, cu un grad de seismicitate în epicentrul sub 1.

Tabelul XVI.36 (continuare)

Criteriul de clasificare	Clasa sau tipul exploziei	Caracterizarea fenomenului
Seismica degajată la explozie și efectele de distrugere produse	Explozii slabe	Sînt dislocări locale caracterizate de o cantitate neînsemnată de rocă fracturată și azvirlită în excavație dar fără distrugeri esențiale ale susținerii și utilajelor miniere. Energia seismică este de $10-10^2$ jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru este de 1-2.
	Explozii medii	Sînt fracturări rapide însoțite de cantități considerabile de rocă sau substanță minerală utilă dislocate și care inundă spațiile exploatate, de formarea undelor de presiune ale aerului și de zgomote. Au drept efect distrugerea susținerilor, surparea lucrărilor pe lungimi de cîteva metri. Energia seismică este de 10^2-10^4 jouli, gradul de seismicitate în epicentru fiind de 2-3,5.
Seismica degajată la explozie și efectele de distrugere produse	Explozii puternice	Au același aspect ca și exploziile medii, dar efectele sînt mult amplificate, extinzîndu-se pe zeci de metri de lucrare. Energia seismică este de 10^4-10^7 jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru de 3,5-5.
	Explozii catastrofale	În cazul acestor manifestări apar efecte de distrugere completă a unor orizonturi întregi ale minei. Suprafața afectată atinge cîteodată mai multe sute de mii de metri pătrați. Energia seismică este mai mare de 10^7 jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru este > 5 .

Aceste fenomene sînt rezultatul acțiunii următorilor factori: natura litologică; proprietățile fizice, mecanice, elastice și reologice ale zăcămintului și rocilor înconjurătoare; starea de tensiune creată; caracteristicile geometrice ale zăcămintului; adîncimea de exploatare, metoda de exploatare etc.

Referitor la natura și proprietățile rocilor se poate preciza că cele mai favorabile sînt rocile de tip casant caracterizate ca roci tari, rezistente, cu un domeniu și caracter pronunțat elastic cum ar fi: bazaltele, cuarțitele, granitele, gresile, conglomeratele, sisturile grezoase, cărbunoase etc. Dacă s-ar putea induce în rocă o fracturare suplimentară lîngă front sau dacă adîncimea zonei de fracturare s-ar putea extinde, atunci probabilitatea de apariție a exploziilor ar fi diminuată (fig. XVI.126).

Starea de tensiune are o mare influență asupra producerii fenomenelor dinamice fiind factorul preponderent în cazul adîncimilor mici. Odată cu creșterea adîncimii și dacă starea naturală de tensiune este numai de origine gravitațională, pericolul apariției exploziilor de rocă se micșorează. O asemenea micșorare este efectul minimizării ați a tensiunilor de forfecare cît și a concentrărilor se tensiune datorită egalizării componentelor dtării secundare de tensiune și manifestării unei stări apropiate de cea hidrostatică.

În cazul în care în masiv există o stare naturală complexă de tensiune (situație frecvent întîlnită în realitate), atunci, chiar la adîncimi mari și în special în cazul zăcămintelor tectonizate, producerea exploziilor este mult favorizată.

Exploziile de rocă se întîlnesc frecvent în zonele anticlinale și sinclinale cu înclinări mari ale flancurilor. Sînt însă semnalate la zăcămintele neafectate de fenomene disjunctive și plicative dar la înclinări sub 20° .

În minele de cărbuni, unde se utilizează metode de exploatare cu stîlpi (lungi sau scurți) sau cu front lung continuu sau trepte răsurnate, există posibilitatea apariției fenomenelor dinamice datorită implicațiilor ce le pot crea aceste metode: lăsarea de stîlpi de cărbune neextrași, decalaj între fronturile de lucru etc. Asemenea fenomene, în contextul acestor metode, s-au produs la extragerea stîlpilor de lîngă galeriile direcționale, dintre abatajele cu front lung, la lăsarea de pilieri în spațiul exploatat.

Exploziile de rocă sînt rezultatul fracturării rocii. Roca este supusă acțiunii unei stări de tensiune excesive (mai mare decît rezistența ei) și ca urmare se fracturează brusc, caz în care printr-o asemenea manifestare ea se eliberează în mod instantaneu de energia înmagazinată în timpul solicitării. Înmagazinarea energiei de către rocă este un fenomen similar comprimării unui arc. Același mecanism este întîlnit și în cazul rocilor. Cantitatea de energie eliberată la producerea exploziei de rocă este deci acumulată sub o stare de tensiune de compresiune și nu de tracțiune, deoarece raportul dintre principalele rezistențe ale rocilor este: $\sigma_t < \tau < \sigma_c$. Observațiile și rezultatele experimentărilor conduc la afirmația că în jurul excavațiilor este favorizată fracturarea și ruperea rocilor mai mult prin forfecare decît prin tracțiune. Deci o explozie de rocă se produce atunci cînd roca casantă este supusă la tensiuni de compresiune suficient de mari, cauzînd brusc ruperea de-a lungul planelor de forfecare (fig. XVI.127).

Intensitatea de fracturare în timpul exploziilor de rocă depinde sau poate fi caracterizată de parametrii din fig. XVI.128. Roca casantă și elastică înmagazinează pe unitatea de volum o cantitate de energie \mathcal{E} dată de relația:

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma_1^2}{2E} \quad [\text{mN/m}^3] \quad (6.1)$$

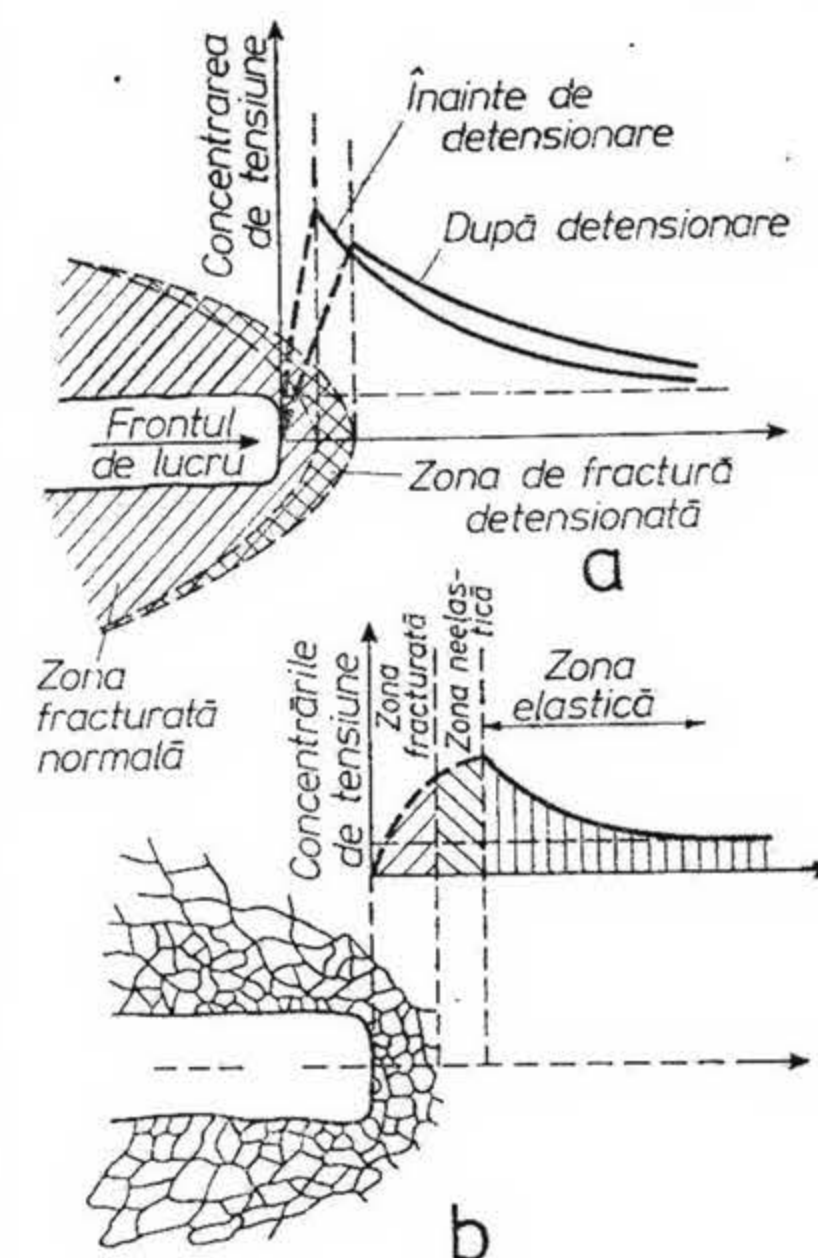


Fig. XVI.126. Starea de tensiune în fața frontului:

a - concentrarea de tensiune în fața frontului detensionat și b - lîngă frontul de lucru.

în care σ_1 este tensiunea principală maximă, N/m^2 .

Prin urmare, capacitatea de înmagazinare a energiei de către o rocă sau substanță minerală utilă este invers proporțională cu valoarea modului de elasticitate E . Valoarea modului de elasticitate a cărbunilor este extrem de mică comparativ cu al rocilor și deci, așa cum o confirmă și observațiile, fenomenele de explozie sînt mai des întîlnite în stratele de cărbune decît în rocile înconjurătoare acestora.

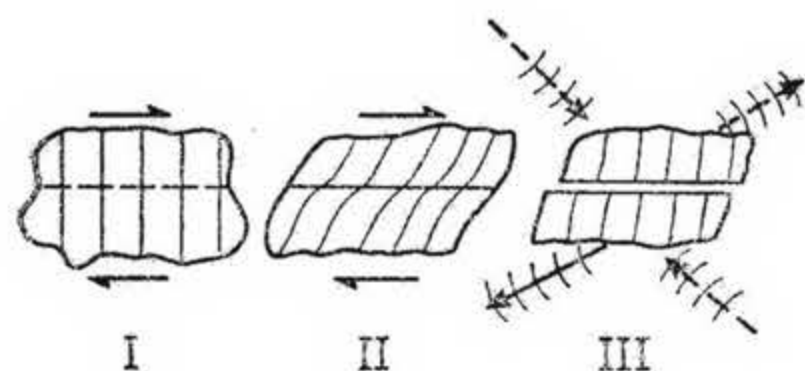


Fig. XVI.127. Fazele de producere a exploziilor de rocă.

Cantitatea de energie potențială \mathcal{E} care se eliberează în timpul exploziilor de rocă ca energie cinetică este constituită din două componente: energia potențială \mathcal{E}_{p1} de deformare elastică acumulată de roca din masiv în limitele fenomenului dinamic; energia potențială \mathcal{E}_{p2} acumulată pe baza compresiunii elastice creată de efortul tangențial. Deci:

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_{p1} + \mathcal{E}_{p2} \quad (6.2)$$

unde:

$$\mathcal{E}_{p1} = \frac{\sigma_c^2}{2E} V_r; \quad \mathcal{E}_{p2} = \frac{\sigma_c \cdot A \cdot \varepsilon_0 \cdot a}{5} \quad (6.3)$$

În aceste relații: σ_c este valoarea medie a celei mai mari tensiuni normale;

V_r — volumul de rocă fragmentat la explozia de rocă;

A — suprafața elementului dislocat; ε_0 — valoarea maximă a relaxării sau deplasării radiale: $\varepsilon_0 = \sigma/E$ (0,625–0,34%);

a — lățimea zonei de relaxare la producerea exploziei.

Deci:

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma_c^2 \cdot A}{2} \left(\frac{m}{E} + \frac{2a}{5E_r} \right) \quad (6.4)$$

unde m este grosimea zăcămintului; E_r — modulul rocilor; E modulul suanșței minerale utile.

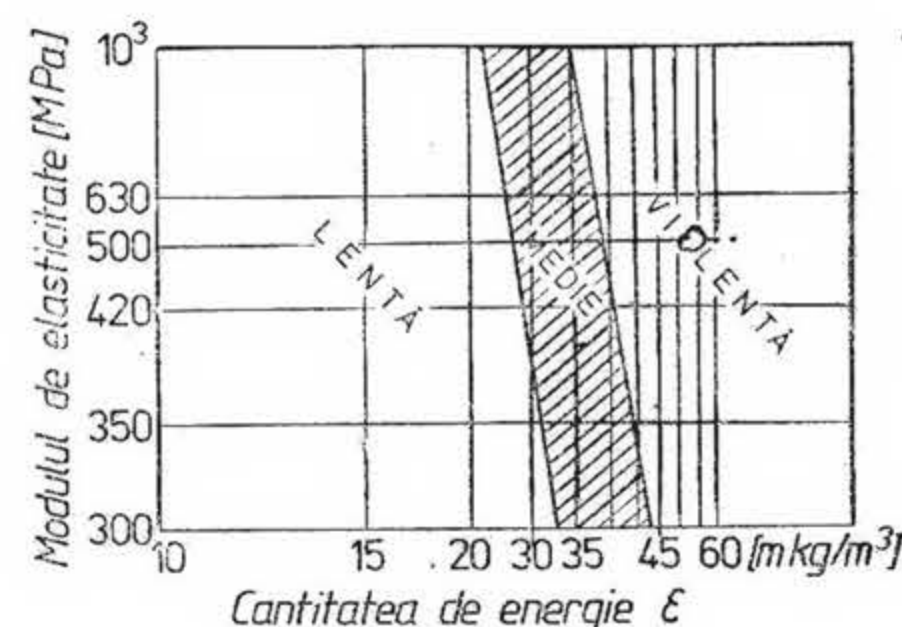


Fig. XVI.128. Clasificarea exploziilor de rocă funcție de rigiditatea și energia înmagazinată la fracturare.

6.1.1. EXPLOZIILE DE ROCĂ PRODUSE ÎN LUCRĂRI MINIERE SINGULARE

În roca înconjurătoare lucrărilor miniere se produc concentrări ale stării de tensiune naturale preexistente ce creează tensiuni tangențiale de compresiune. Aceste tensiuni constituie cauza apariției în rocă, la extremitățile fisurilor naturale sau a celor apărute în urma excavării, a unor eforturi de tracțiune paralele cu direcția de solicitare a tensiunilor tangențiale la compresiune (conform ipotezei lui Griffith). Datorită acestor solicitări, la un moment dat se produce fracturarea și elementele de rocă sînt refulate avînd drept consecință azvîrlirea lor din peretele lucrării, mai mult sau mai puțin violent, funcție de capacitatea de înmagazinare a energiei de către rocă — fenomen denumit *exfoliere*, *dalare* sau *izbucnire de rocă*. Acestea sînt *exploziile de factură minoră*, iar dacă fenomenul se extinde și în adîncime atunci sînt *explozii de factură medie* care se manifestă de fapt în lucrările miniere singulare (fig. XVI.129).

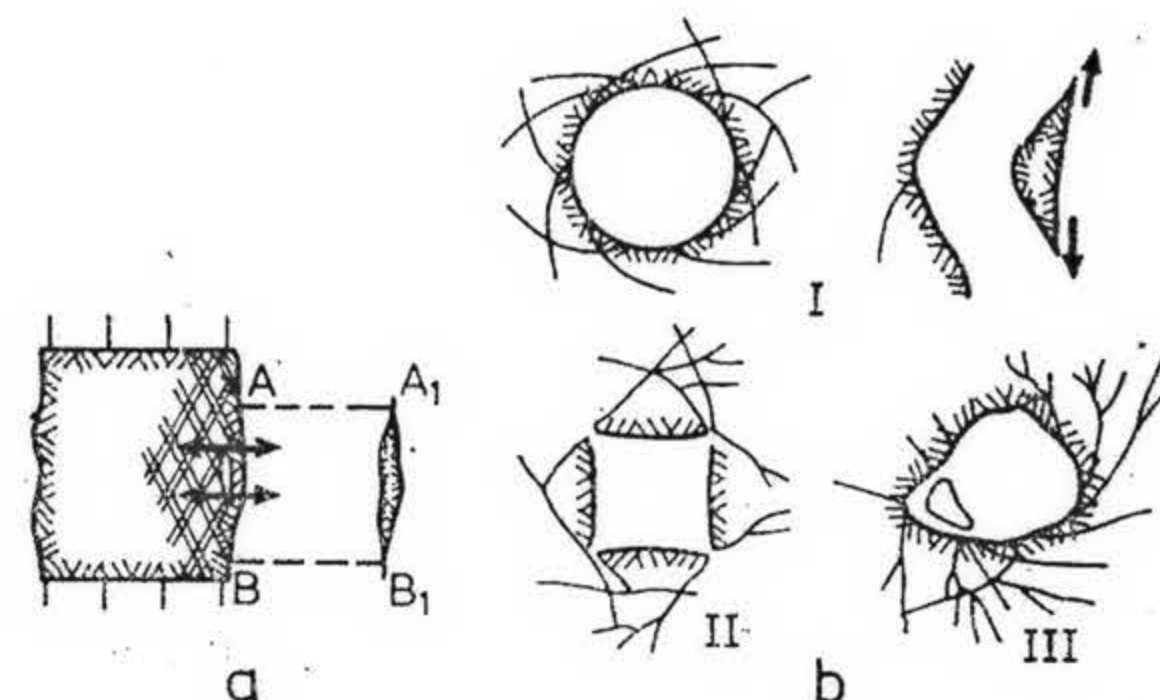


Fig. XVI.129. Tipuri de explozii de rocă:

a — explozie minoră: ruperea rocii prin fracturare sau forfecare; b — explozie moderată: tipuri de fracturare (I, II, III) în cazul unei stări de tensiune izotropă.

În cazul în care tensiunea tangențială de compresiune este orizontală, atunci fracturarea se produce la tavanul sau la vatra lucrării, iar dacă este verticală fracturarea se produce în pereții acesteia.

6.1.2. EXPLOZIILE DE ROCĂ PRODUSE ÎN LUCRĂRI MINIERE MULTIPLE ȘI ÎN ABATAJE

În acest caz fenomenul de explozie este mult mai intensiv, în sensul că efectele sînt mai dezastruoase, cu toate că mecanismul de producere este identic. În funcție de localizarea focarului de explozie (fractura principală produsă de explozie) și de efectele produse, aceste fenomene de factură majoră se pot încadra în două subgrupe:

- lovituri de acoperiș sau culcuș care se produc prin ruperea bolții create de rocă în tendința ei de echilibrare în jurul excavației;
- explozii produse în zăcămint.

Loviturile de acoperiș sau culcuș apar ca urmare a distrugerii stării de echilibru din jurul excavațiilor (lucrări multiple, abataje). Ruperea se produce ca urmare a acțiunii tensiunilor de forfecare ce se manifestă (fig. XVI.130).

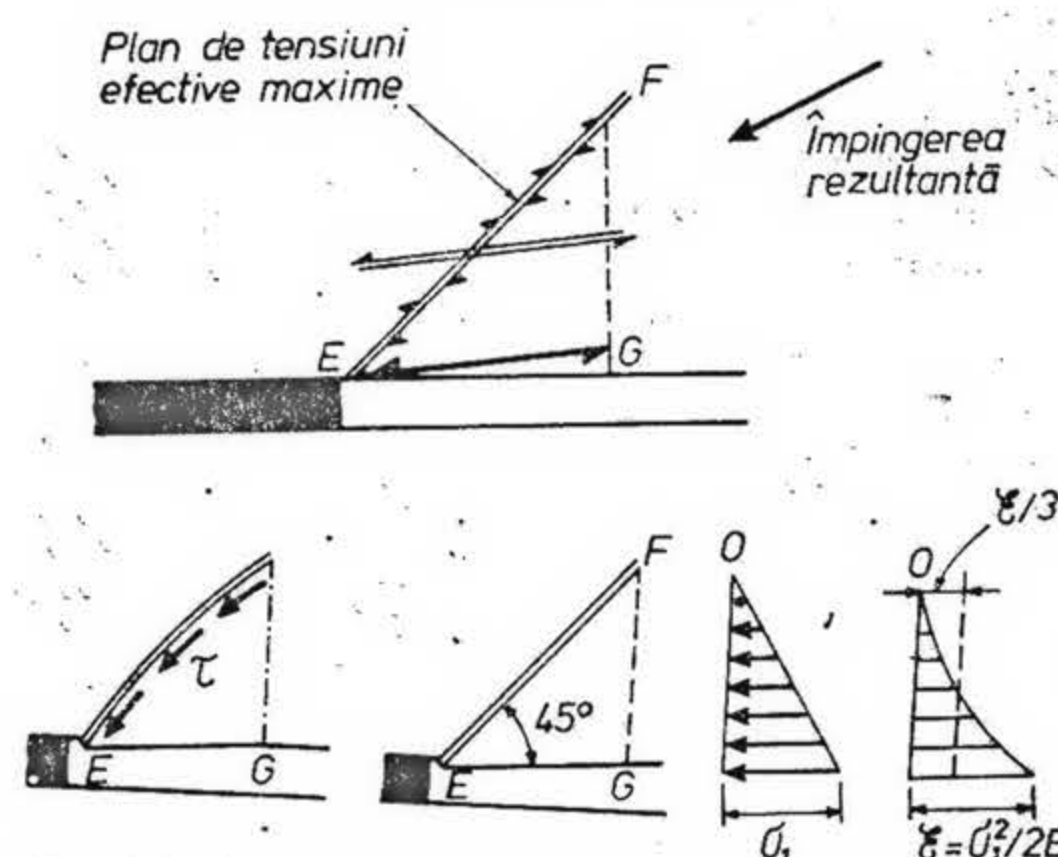


Fig. XVI.130. Ruperea acoperișului sub acțiunea tensiunilor de forfecare în cazul zăcămintelor de cărbune.

Direcția lui τ variază cu direcția și tipul de solicitare, de la orizontală (în cazul unei stări de tensiune complexe) pînă la verticală (în cazul stării gravitaționale). Considerînd situația complexă de solicitare, fracturarea se va produce după o direcție $E-F$ (fig. XVI.130), progresînd în spre interiorul rocii în mod ascendent din O , degajîndu-se în cîteva milisecunde un volum mare de rocă ce este azvîrlit în spațiul exploatat. Analizînd blocul de forma EFG în momentul fragmentării și expandării, se poate stabili valoarea energiei elastice înmagazinate de această porțiune (EFG) înainte de rupere, deci :

$$\mathcal{E} = k \sigma_1^2 \quad (6.5)$$

unde k este 0,5 E în conformitate cu relația (6.1); σ_1 — tensiunea normală principală maximă; E — modulul de elasticitate al rocii. Ca urmare, linia care delimitează energia înmagazinată este o parabolă, iar suprafața închisă de acesta reprezintă energia totală înmagazinată de blocul considerat.

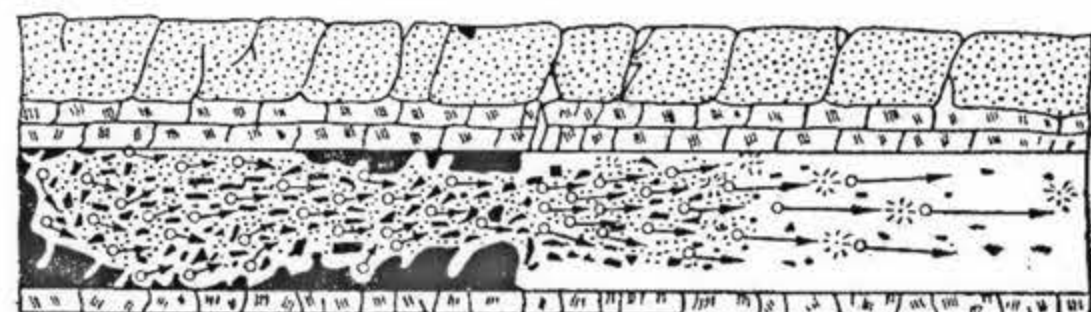


Fig. XVI.131. Explozii de cărbune.

Exploziile produse în zăcămint. În cazul zăcămintelor de cărbuni, exploziile care se produc la exploatarea acestora dezvoltă o fragmentare violentă numai a cărbunelui, fără nici o afectare inițială a rocilor înconjurătoare. În mod obișnuit majoritatea explo-

ziilor de cărbune se produc în zăcămintele tabulare, în acoperișul cărora se situează strate groase de rocă tare de tipul gresiilor, conglomeratelor, marno-calcarelor etc. (tabelul XVI.37). Mecanismul de producere a unor asemenea fenomene rezultă din fig. XVI.131.

Tabelul XVI.37

Rezistența rocilor din acoperișul și culcușul stratelor de cărbune

Denumirea	Rezistența de rupere la compresiunea, σ_i [MPa]	Modulul de elasticitate, E [MPa]
Rocile din acoperiș sau culcuș	20—135	$210 \cdot 10^2 - 450 \cdot 10^2$
Cărbunele	6—35	$21 \cdot 10^2 - 45 \cdot 10^2$

Toate observațiile arată că pentru evidențierea cărbunilor susceptibili la degajări bruște și instantanee față de cei care nu au o astfel de proprietate, trebuie măsurată viteza de absorbție sau desorbție a acestora.

În cazul zăcămintelor de minereu, substanța minerală utilă este în mod frecvent mai tare decât rocile înconjurătoare și deci exploziile în asemenea zăcămintele se produc numai la adîncimi mari și prin fracturarea acoperișului sau a culcușului lîngă frontul de lucru și a zăcămintului însuși.

6.2. ERUPȚIILE DE CĂRBUNE ȘI GAZ SAU ROCĂ-APĂ ȘI GAZ (VIITURI)

Sînt tot o formă de manifestare dinamică a regimului de presiune minieră, adică a stărilor secundare de tensiune. Acestea sînt caracterizate ca fenomene bifazodinamice (gazodinamice) sau trifazodinamice (gazolichidodinamice). În esență constau în detașarea bruscă din abataj și sfărîmarea rocii sau a cărbunelui cu degajarea simultană a unor cantități considerabile de gaz sau apă și gaz. Deci erupțiile pot fi definite ca fenomene de dislocare rapidă a unor porțiuni oarecare din masiv însoțite de sfărîmarea intensivă, măruntirea rocii și aruncarea ei în excavația minieră, cu degajarea simultană a unor cantități considerabile de gaz.

Un fenomen asemănător, cu toate că în genere se produce din vatra abatajelor, este acela de erupție a borchișurilor însoțite de gaze, adică viiturile (caracteristic zăcămintelor de lignit).

Aceste fenomene se pot caracteriza prin forța sau scara la care se produc. În afară de aceasta, se poate stabili coeficientul emanației de gaz sau gaz și apă k_g respectiv k_{gw} , prin raportul :

$$k_g = \frac{Q_g}{Q_m} \quad \text{sau} \quad k_{gw} = \frac{Q_{gw}}{Q_m} \quad (6.6)$$

unde: Q_m este cantitatea de rocă adusă de erupție; Q_g și Q_{gw} cantitatea de gaz respectiv gaz-apă degajată de erupție.

Intensitatea erupției, I_e , este:

$$I_e = \frac{Q_m}{t}; I_e = \frac{Q_g}{t}; I_e = \frac{Q_{gw}}{t} \quad (6.7)$$

unde t este durata fenomenului de erupție.

În cazul sistemului complex rocă-apă-gaz se poate scrie:

$$\tau' = c + (\sigma_N - \sigma) \operatorname{tg} \varphi = c' + \sigma_N \operatorname{tg} \varphi \quad (6.8)$$

unde τ' este tensiunea efectivă de forfecare; c' — modificarea coeziunii în funcție de tensiunea din pori a fazei gazoase și lichide;

σ_N — tensiunea normală totală;

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1 - \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1 + i_0}{i_0}} \quad (6.9)$$

σ_0 este starea de tensiune a fazei gazoase sau lichide; $\frac{\Delta V}{V}$ — creșterea de volum;

i_0 — indicele golurilor.

Prin urmare, cu cât variația volumului specific este mai mare cu atât se micșorează rezistența rocii. Prezența în rocă a unei faze sau chiar a două faze explică fenomenul de slăbire a rocii și îl diversifică după cum variază raportul $\frac{\Delta V}{V}$. Astfel, dacă $\frac{\Delta V}{V} > 0$,

apare fisurarea rocii și favorizează apariția erupției, dacă $\frac{\Delta V}{V} < 0$ fisurarea se produce lent și nu apar fenomene dinamice.

Pericolul de erupție sau viitură poate fi prognozat pe baza parametrilor dependenți de distanța frontului de lucru. Locul cel mai nefavorabil unde comportamentul rocii trece de la cel elastic la plastic este distanța X_0 :

$$X_0 = \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{0,5 < m \cdot a + j - \frac{1}{m-1}}{(m-1) \left[\frac{\sigma}{\sigma_z - \sigma_0} + \frac{j}{m-1} - 1 \right]} \right\} \quad (6.10)$$

unde: a este semideschiderea abatajului; m — constanta lui Poisson;

$$j = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \quad (6.11)$$

Condiția generală de apariție a erupțiilor sau a viiturilor este dată de expresia:

$$\sigma_c < p_0 \frac{j-1}{1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_c}} \left\{ 1 + 1,3 \frac{1+i_0}{i_0} \cdot \frac{m-2}{mE} \cdot \frac{(m-1)(m \cdot n \cdot a - 1) - 2}{(m-1)(0,5 m \cdot n \cdot a + j) - 1} \cdot \left[[\sigma_p + (H\gamma_a - p_0) \left(\frac{j}{m-1} - 1 \right)] \right] \right\} \quad (6.12)$$

în care: p_0 este presiunea inițială a gazelor sau a apei din pori; n — coeficientul de siguranță al susținerii; σ_p — limita plastică sau de curgere a rocii.

Prin urmare pericolul erupției sau a viiturilor poate fi stabilit prin analiza parametrilor naturali: H ; γ_a ; i_0 ; φ ; E ; sau m ; i_0 ; și p ; σ_c ; σ_p și a celor tehnici n și a .

Posibilitățile de prevenire și combatere trebuie să aibă la bază dirijarea stării secundare de tensiune, adică o determinare a zonelor înconjurătoare suprafețelor libere, pentru modificarea caracteristicilor de deformare a rocilor și acolo unde este necesar o degazare respectiv o asecare prealabilă.

7. INFLUENȚA EXPLOATĂRILOR SUBTERANE ASUPRA TERENULUI DE LA SUPRAFAȚĂ

7.1. DEFORMAREA SUPRAFETEI TERENULUI SUB INFLUENȚA EXPLOATĂRII SUBTERANE

7.1.1. CARACTERUL DEPLASĂRII ȘI DEFORMĂRII MASIVULUI DE ROCI ȘI A SUPRAFETEI TERENURILOR

Prin extragerea pe o anumită suprafață din zăcămint a substanței minerale utile, excavațiile subterane rezultate, atît în cazul cînd sînt rambleiate, dar mai ales atunci cînd se aplică dirijarea presiunii prin surpare totală, pun în mișcare masivul de roci acoperitoare, care caută să umple spațiul creat de exploatare. În funcție de natura și caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor, de adîncimea la care se află zăcămintul ce se extrage, în masivul de roci acoperitoare, în mișcarea sa spre spațiul exploatat, în timp, iau naștere trei zone (fig. XVI.132):

- zona surpărilor neregulate (1);
- zona surpărilor regulate (2);
- zona îndoirii stratelor sterile după stratificație (3).

Se consideră că în cazul în care adâncimea stratului ce se exploatează este mai mică de 100–150 m, și aceasta în dependență cu caracteristicile de deformare și mecanice ale rocilor, zona a treia, a îndoirii stratelor după stratificație, poate să lipsească.

În acest mod, mișcarea întregului masiv de roci spre spațiul exploatat se transmite suprafeței terenului de la zi. Propagarea mișcării masivului de roci spre suprafața terenului

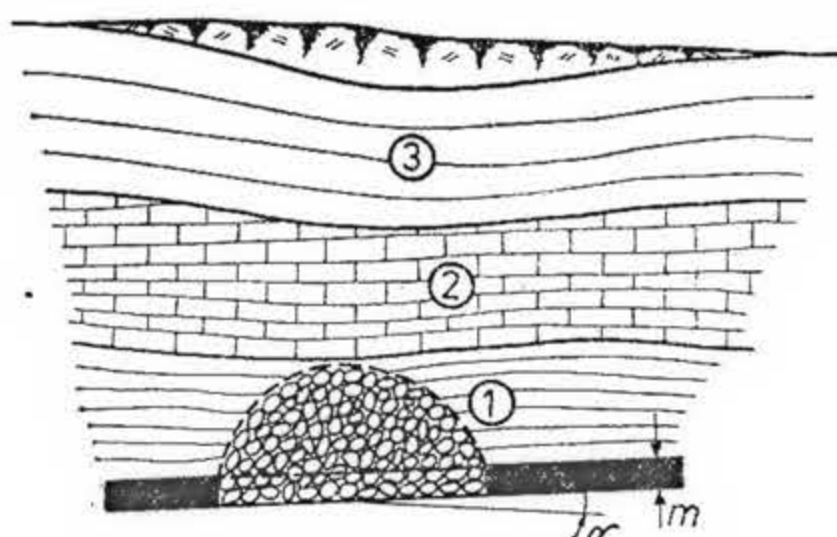


Fig. XVI.132. Modul de deplasare și deformare a masivului de roci sub influența exploatării subterane.

atinge o zonă din ce în ce mai mare, astfel încât atunci când ajunge la zi, forma luată de ansamblul deplasării și deformării poate fi asemănător cu o pîlnie aproximativ piramidală (fig. XVI.133). Mărimea suprafeței de la zi afectată de mișcarea întregului masiv de roci, față de mărimea spațiului exploatat, este delimitată prin plane care cu planul orizontal fac anumite unghiuri (fig. XVI.133), denumite *de scufundare* (β_s, γ_s transversal pe zăcă-

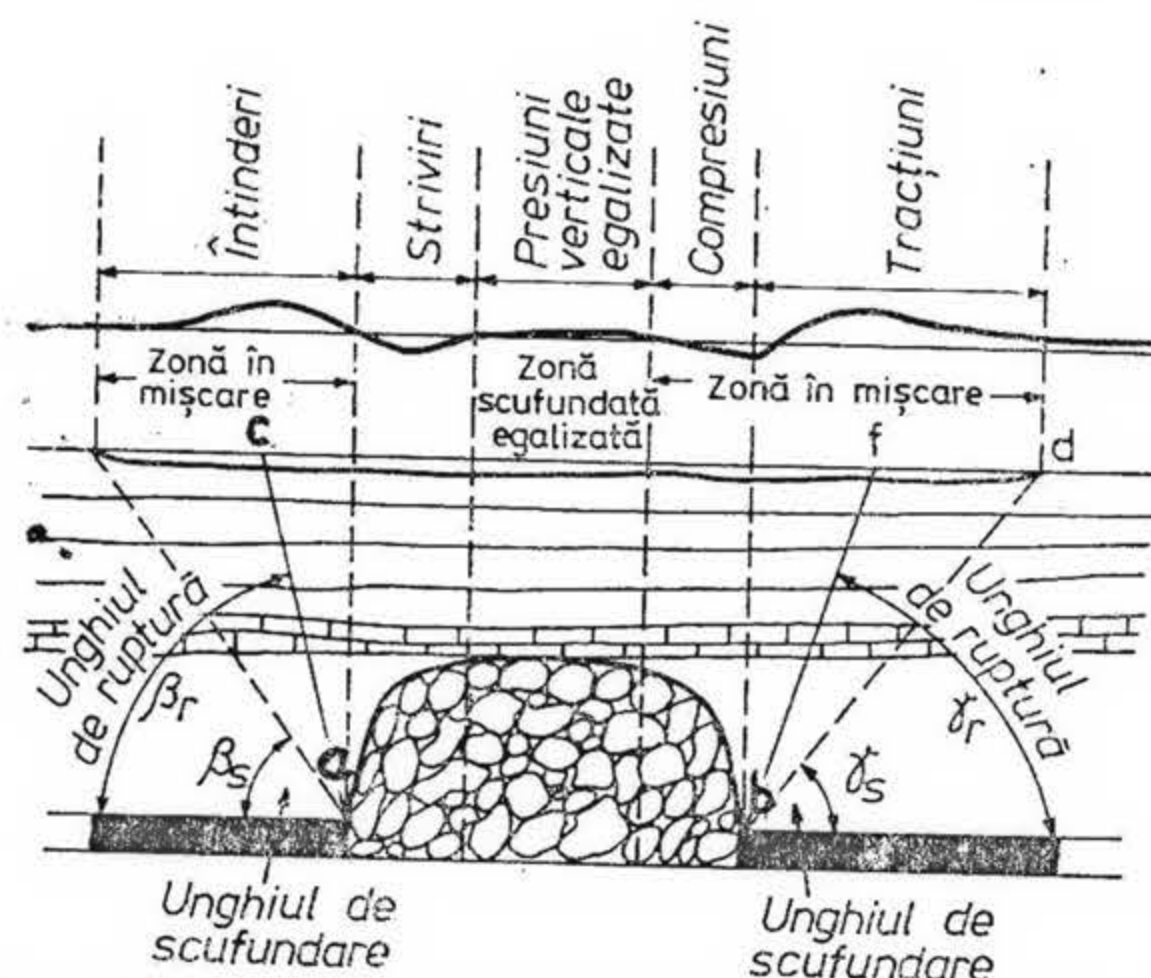


Fig. XVI.133. Deformarea suprafeței terenului și extindere în plan a zonei de scufundare.

mînt și δ_s după direcția zăcămintului). În interiorul pîlniei de scufundare, la suprafața terenului, apar linii de fractură (ac, bf) înclinate sub diferite unghiuri, denumite *de rupere* ($\beta_r, \gamma_r, \delta_r$).

În funcție de adâncimea de exploatare, de natura și caracteristicile mecanice ale rocilor, în locurile unde liniile de fractură definite prin unghiurile de rupere străpung

suprafața de la zi, apar crăpături. Din observațiile făcute asupra scufundărilor, rezultă că atât masivul de roci cît și suprafața suferă deplasări și deformări, luînd naștere eforturi de compresiune și de tracțiune (fig. XVI.133).

7.1.2. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ PROCESUL DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE A SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Dintre factorii mai importanți care influențează procesul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor, se menționează:

- caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor acoperitoare;
- tectonica zăcămintului și masivului de roci;
- condițiile hidrogeologice;
- grosimea și înclinarea stratelor ce se exploatează;
- metoda de exploatare;
- metoda de dirijare a presiunii rocilor înconjurătoare;
- dimensiunile spațiului exploatat;
- adâncimea de exploatare etc.

Caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor situate deasupra stratului în exploatare reprezintă un factor important al procesului de deplasare și dislocare a rocilor. Rocile cu caracteristici elastice, în special cele casante, se rup în momentul în care eforturile la care sînt supuse — greutatea proprie sau suprasarcinile statice și dinamice datorite rocilor de deasupra — depășesc rezistența lor mecanică și se surpă în spațiul exploatat. În funcție de adâncimea de exploatare, în acest caz, pot apărea la suprafața deplasări discontinue însoțite de crăpături. Dacă, însă, rocile au caracteristici plastice predominante, stratele de deasupra excavațiilor create în zăcămint prin exploatare se coboară lin, îndoindu-se după stratificație și produc la suprafața de la zi deplasări continue fără apariția de crăpături.

Existența stratelor acvifere în acoperișul stratului în exploatare, fie că se asecă sau nu, amplifică mărimea deplasărilor și deformărilor ce apar la suprafața terenului.

Grosimea și înclinarea zăcămintului sînt, de asemenea, factori importanți în procesul de deplasare-deformare a rocilor acoperitoare. Cu cît zăcămintul este mai gros, oricare ar fi înclinarea lui, cu atît deplasarea și deformarea rocilor înconjurătoare va fi mai accentuată, iar terenul de la suprafață va suferi mai mult de pe urma fenomenului de tasare-scufundare. La înclinări mari și foarte mari, oricare ar fi adâncimea de exploatare, mai ales atunci cînd rocile înconjurătoare au rezistență și stabilitate mică, dislocările și surpările se fac simțite la suprafață.

Metoda de exploatare și în special metodele de dirijare a acoperișului — a căror aplicare este strîns legată de caracteristicile fizice și mecanice ale rocilor din acoperișul direct și principal al zăcămintului exploatat — contribuie și ele la amplificarea procesului de deplasare și deformare a masivului de roci și implicit a suprafeței terenului. În cazul zăcămintelor de cărbune, extragerea prin abataje cameră, indiferent de adâncime, produce la suprafață deplasări și deformări discontinue, cu apariția de crăpături, pe cînd extragerea cu abataje frontale poate da naștere la scufundări continue, fără apariția de crăpături. Dirijarea presiunii prin surpare totală conduce la valori mai mari ale scufundării suprafeței terenurilor de la zi în raport cu dirijarea prin rambleiere totală sau parțială.

Mărimea spațiului exploatat influențează direct forma deplasărilor pe verticală a suprafeței terenurilor precum și mărimea deformațiilor ce apar. Adâncimea de exploatare este unul din parametrii esențiali care caracterizează caracterul deplasării și deformării

suprafeței terenurilor. La adâncimi mici deplasările și deformările sînt discontinue. Odată cu creșterea adâncimii de exploatare, deplasările sînt continue, mărimea acestora scade. De la o anumită adâncime, în concordanță cu alți factori, mărimea deplasărilor și deformărilor suprafeței devine practic nulă.

7.1.3. PARAMETRII ȘI ELEMENTELE DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE A SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Strate horizontale și cu înclinare mică. Ca rezultat al exploatării pe o anumită suprafață a unui strat orizontal cu înclinare mică, la o adâncime suficient de mare, mișcarea masivului de roci acoperitoare spre spațiul exploatat în timp afectează suprafața terenului de la zi, producînd deplasarea și deformarea acestuia. Caracterul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane este caracterizat prin parametrii săi specifici și anume:

- unghiurile de scufundare ($\beta_s, \gamma_s, \delta_s$) și de rupere ($\beta_r, \gamma_r, \delta_r$);
- deplasarea verticală, sau scufundarea, W (mm);
- deplasarea orizontală, U (mm);
- deformația specifică orizontală, ε (mm/m);
- înclinarea, T (mm/m);
- curbura, K , (m^{-1}, km^{-1}).

Considerînd deasupra spațiului exploatat la suprafața de la zi două aliniamente topografice, unul perpendicular și altul paralel cu frontul de abataj, cu puncte situate la anumite distanțe constante între ele și determinînd pentru fiecare punct în parte parametrii amintiți, se vor obține curbele care definesc deformarea și deplasarea suprafeței de la zi (fig. XVI.134). Pentru zăcămintele stratiforme, orizontale și cu înclinare mică, curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sînt simetrice față de o dreaptă verticală ridicată deasupra jumătății spațiului exploatat (fig. XVI.134).

Unghiurile de scufundare se stabilesc prin măsurători topografice pentru fiecare bazin minier și depind de condițiile geologo-miniere ale zăcămintului, înclinarea și adâncimea stratelor. În tabelul XVI.38 sînt prezentate valorile unghiurilor de scufundare din principalele bazine carbonifere din țară și din unele bazine miniere din alte țări.

Parametrii de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor se obțin prin:

- măsurători topografice;
- calcule matematice de prognoză.

Strate cu înclinare medie și mare. Alitura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor de la zi este redată în fig. XVI.135. Din figură se observă că curba deplasărilor verticale este asimetrică în raport cu jumătatea spațiului exploatat. Maximul scufundării verticale este deplasat în partea din amonte a spațiului exploatat. Unind punctul de scufundare maximă de pe albia de scufundare cu mijlocul spațiului exploatat, aceasta face cu orizontala unghiul θ , a cărui valoare depinde în principal de următorii factori:

- caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor acoperitoare;
- unghiul de înclinare a stratului;
- adîncimea de exploatare;
- metoda de exploatare și dirijare a presiunii;
- dimensiunile spațiului exploatat etc.

Valoarea unghiului θ se stabilește în urma determinării prin măsurători topografice a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor, în funcție de condițiile geologice și de exploatare din fiecare bazin minier.

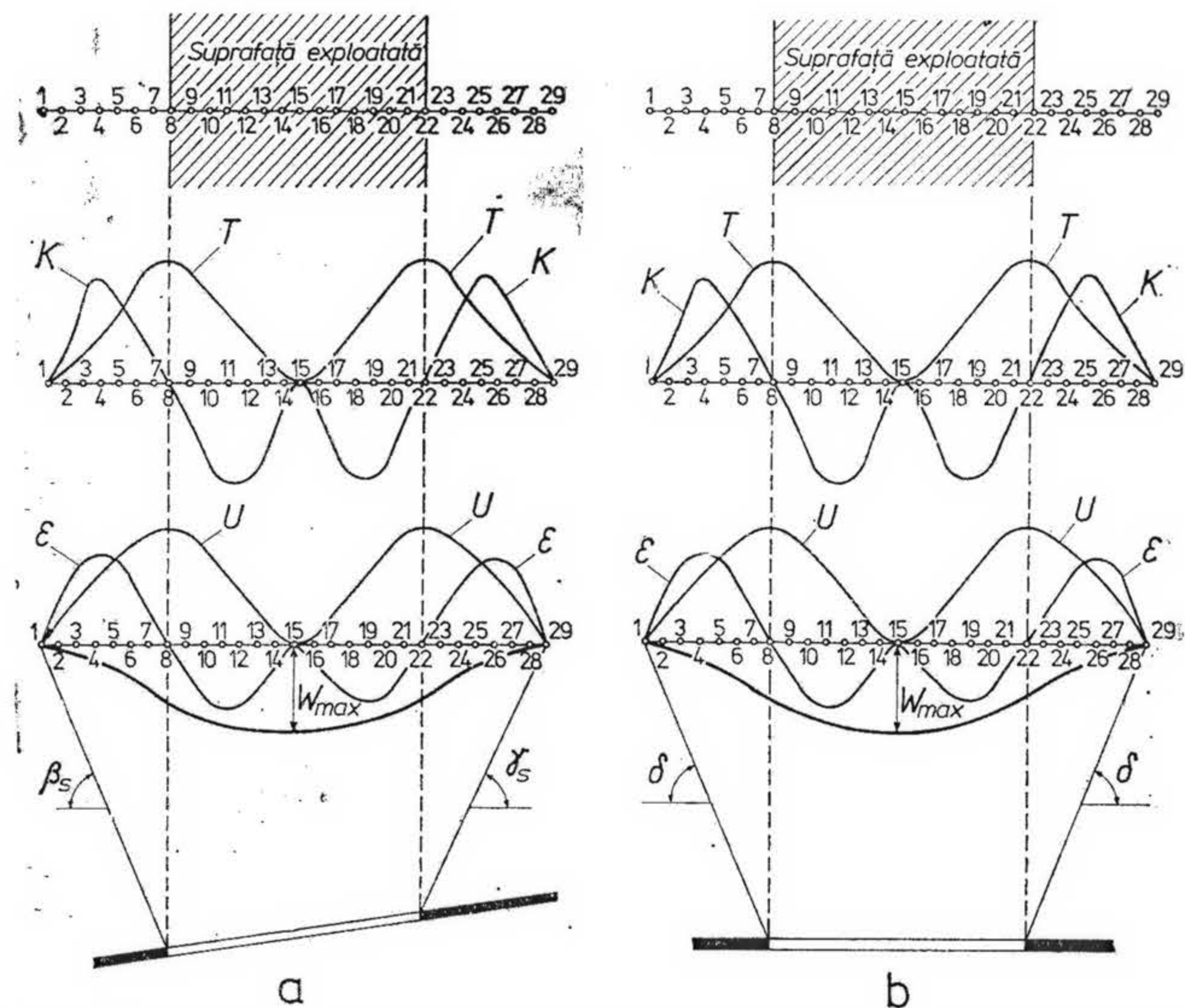


Fig. XVI.134. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor pentru strate orizontale și de înclinare mică:

a — secțiune transversală pe zăcămint; b — secțiune longitudinală prin zăcămint; W — curba deplasărilor verticale (albia de scufundare); U — curba deplasărilor orizontale; ε — curba deformațiilor specifice orizontale; T — curba înclinării albiei de scufundare; K — curba curburii albiei de scufundare.

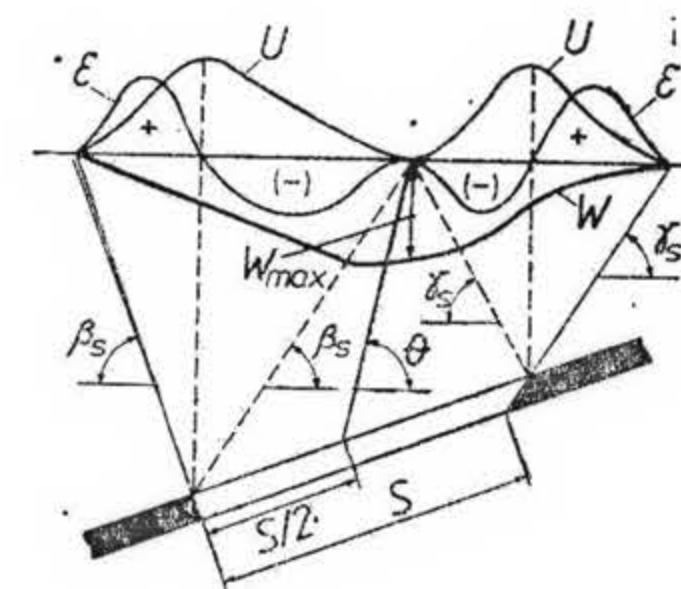


Fig. XVI.135. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor pentru strate de înclinare medie și mare:

W — albia de scufundare; U — curba deplasărilor orizontale; ε — curba deformațiilor specifice orizontale.

Tabelul XVI.38

Valoriile unghiurilor de scufundare în diferite bazine miniere din țară și din străinătate

Țara	Bazinul minier	Unghiul de scufundare			Înclinarea zăcămintului [grade]	Categorია de protecție	Felul zăcămintului
		β_s	γ_s	δ_s			
România	Motru	63 69	60 64	60 64	0-5 0-5	I II	Lignit
	Cîmpulung-Muscel	60 63	25 57	54 54	14 14	I II	Lignit
	Filipeștii de Pădure	63	57	60	12	I-IV	Lignit
	Valea Jiului*)	72	68	64'	Variabilă	I-IV	Huică
	Deva	87	78	72	Vertical	I-IV	Mineriu de cuprifera
	Bălan	83	73	70	>75	I-IV	Idem
Polonia	Silezia superioară	72	72	72	0-12	I-IV	Huică
Cehoslovacia	Moravia	76	72	62	< 18	I-IV	Huică
U.R.S.S.	Doneț	85 90- α 90- α	85 90 85	85 85 85	0-5 6-44 90- α	I-IV	Huică
	Kuzneț	74 79 83 63 52 52	80 83 85 71 73 75	80 83 85 83 83 83	10 10 10 45 45 45	I II III I II III	Huică
	Moscovei	65	55	50	0-8	I-IV	Cărbune brun
R.F.G.	Ruhr	78	69	64	0-18	I-IV	Huică

*) Prin studiile întocmite în ultimii ani, în bazinul Văii Jiului au fost stabilite unghiuri de scufundare variabile cu înclinarea și adîncimea. Valorile acestor unghiuri nefiind confirmate de practică și legiferate, în tabel au fost date valorile unghiurilor după care s-au trasat pilierii de siguranță.
 α - unghiul de înclinare al zăcămintului.

7.1.4. STADIILE DE DEZVOLTARE A ALBIILOR DE SCUFUNDARE

Pentru a cunoaște stadiile de dezvoltare a albiei de scufundare pe măsura exploatarei, se pornește de la raportul dintre mărimea suprafeței abatajului și înălțimea pe care ar avea-o un presupus pilier de siguranță H , a cărui bază ar fi chiar suprafața cîmpului exploatat.

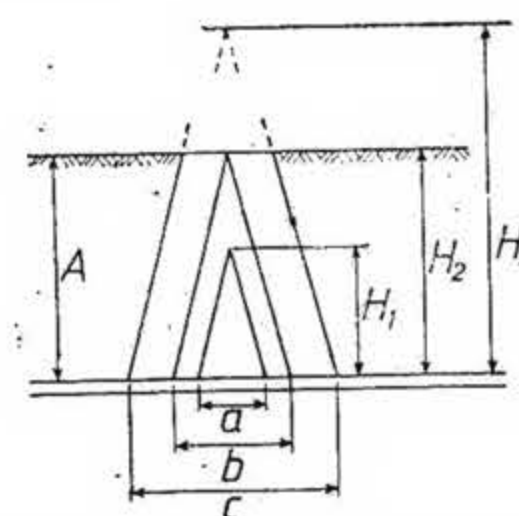


Fig. XVI.136. Stadiu de dezvoltare a albiei descufundare determinate de

$$\text{raportul } \frac{H}{A}.$$

În acest scop, dacă din marginile frontului de abataj se construiesc invers unghiurile de scufundare ($\beta_s, \gamma_s, \delta_s$) se obține o piramidă a cărei înălțime este H (fig. XVI.136). Notînd cu A adîncimea medie a exploatarei și făcînd raportul între H și A , se deosebesc trei stadii de dezvoltare a albiei de scufundare și anume:

- *albie subcritică*, cînd mărimea spațiului exploatat $L < 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$, sau $\frac{H}{A} < 1$, adică vîrfurile presupusului pilier de siguranță nu va atinge suprafața de la zi. Albia de scufundare are forma unei căldări și nici un punct de la suprafață nu va atinge scufundarea verticală maximă (fig. XVI.137);

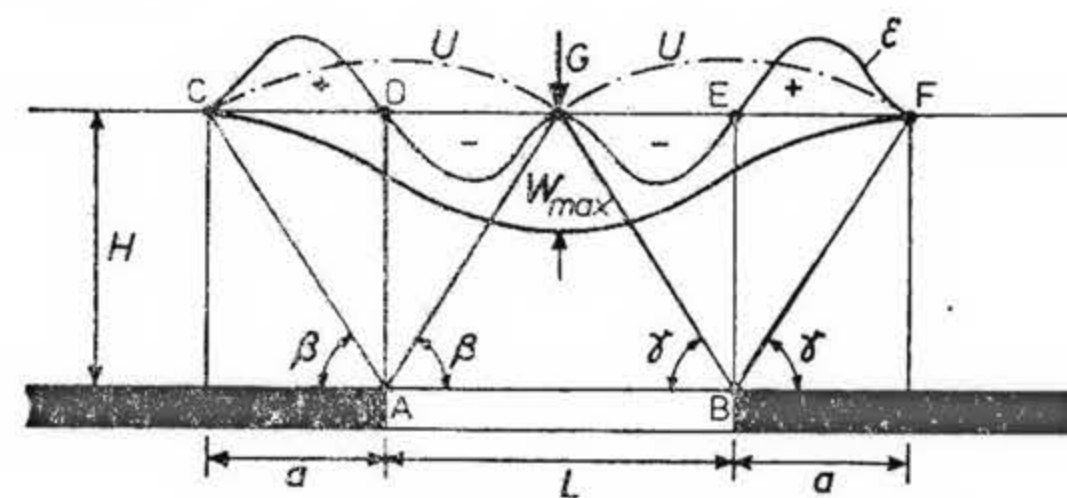


Fig. XVI.138. Albie de scufundare critică.

- *albie critică*, cînd mărimea spațiului exploatat $L = 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$, sau $\frac{H}{A} = 1$,

adică vîrfurile presupusului pilier de siguranță atinge suprafața de la zi. În acest caz un singur punct de la suprafață atinge scufundarea verticală maximă, în dreptul centrului suprafeței exploatate (fig. XVI.138).

— albie supracritică, când mărimea spațiului exploatat $L > 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$ sau $\frac{H}{A} > 1$, adică vârful presupusului pilier de siguranță depășește nivelul suprafeței de la zi. Albia de scufundare, pe o mare întindere a zonei centrale, este largă, orizontală, mai multe puncte de la suprafață ating scufundarea verticală maximă. În această zonă nu apar

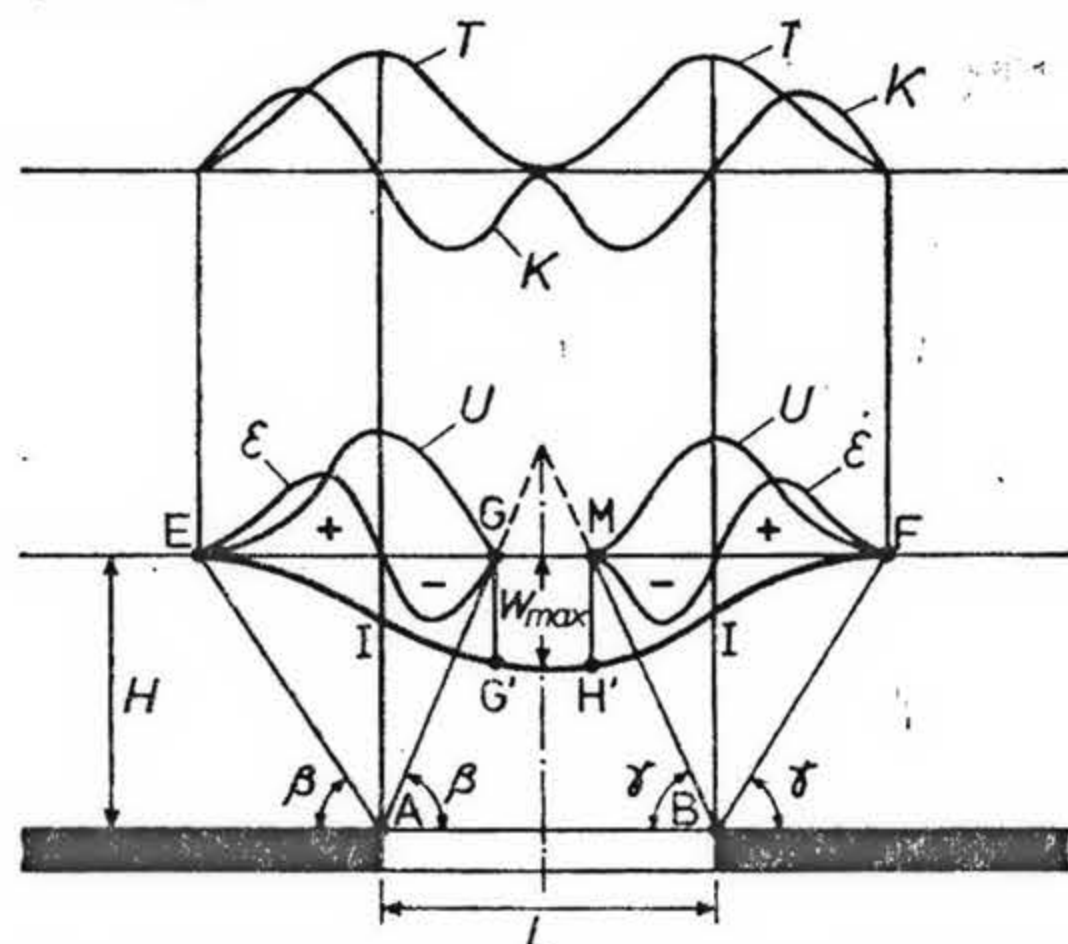


Fig. XVI.139. Albie de scufundare supracritică.

deplasări și deformări orizontale (fig. XVI.139). În punctul de inflexiune al curbei deplasărilor verticale, aflat pe verticala ridicată deasupra marginii frontului de abataj, scufundarea verticală este

$$W_I = \frac{1}{2} W_{max}.$$

În zona HE — scufundarea verticală a unui punct este cuprinsă în limitele :

$$\frac{1}{2} W_{max} < W < W_{max}.$$

iar în zona EF, scufundarea verticală a unui punct este

$$0 < W < \frac{1}{2} W_{max}.$$

7.2. METODE DE STUDIU A DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMĂRILOR SUPRAFETEI TERENURILOR

Protecția obiectivelor industriale, sociale și naturale de la suprafața perimetrelor miniere se face prin trasarea și dimensionarea pilierilor de siguranță (protecție). În multe din cazuri se pune problema valorificării rezervelor de substanță minerală utilă imobi-

lizate în acești pilieri de siguranță, deci punerea în exploatare și introducerea lor în circuitul economic. În această situație se întreprind studii pentru cunoașterea deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor sub influența exploatării unui zăcămint situat în anumite condiții geologo-miniere și de exploatare. În studierea unei astfel de probleme sînt folosite metode topografice și metode matematico-analitice de calcul de prognoză.

Metodele topografice constau în amplasarea, la suprafața terenurilor, de stații de măsurare topografică a parametrilor de deplasare și deformare. Aceste stații topografice sînt formate din aliniamente de măsurare, amplasate după direcția și înclinarea straturilor, adică perpendicular și paralel cu direcția de avansare a frontului de abataj. Pe fiecare aliniament sînt materializate puncte sub forma unor repere situate la anumite distanțe. În aceste aliniamente se fac măsurători de nivelment și distanțe orizontale dintre repere. Prin măsurători de nivelment se determină scufundările verticale a suprafeței terenului și se ridică curba scufundărilor verticale sau albia de scufundare. Din calcule se determină curba înclinării și curba curbării albiei de scufundare.

Executînd măsurători de distanțe orizontale dintre repere, se determină deplasările orizontale și se ridică curba acestora. Din calcule se determină valoarea deformațiilor specifice orizontale. Totodată, în urma tuturor măsurătorilor efectuate se determină unghiurile de scufundare și de rupere. Metodologiile de efectuare a măsurătorilor, a calculelor de determinare a unor parametri, precum și modul de prelucrare a datelor, constituie obiectul unui capitol din cadrul Topografiei miniere (v. Secțiunea XV).

Metodele matematico-analitice de calcul constau în adoptarea unor relații de calcul de prognoză a parametrilor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor. În această situație, se aplică una din metodele de calcul ce a fost elaborată pentru condiții geologo-miniere asemănătoare cu zăcămintul ce trebuie exploatat și care, verificată în practică, a condus la rezultate satisfăcătoare. Literatura de specialitate pune la dispoziție în prezent o multitudine de metodologii de calcul de prognoză a parametrilor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane, ale căror rezultate au fost confirmate de practica inginerescă.

7.2.1. DEPENDENȚA MATEMATICĂ ÎNTRE CURBELE DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE

Considerînd cazul unei albie de scufundare critică sau supracritică, se observă că între curbele de deplasare și deformare există o dependență matematică. Față de sistemul de axe de coordonate adoptat, rezultă următoarele (fig. XVI.140):

- în punctul de inflexiune al curbei deplasărilor verticale, curba înclinării prezintă un maxim și are valoarea zero în punctul unde apare scufundarea verticală maximă;
- pentru valoarea maximă a curbei înclinării, curba curbării albiei de scufundare are valoarea zero.

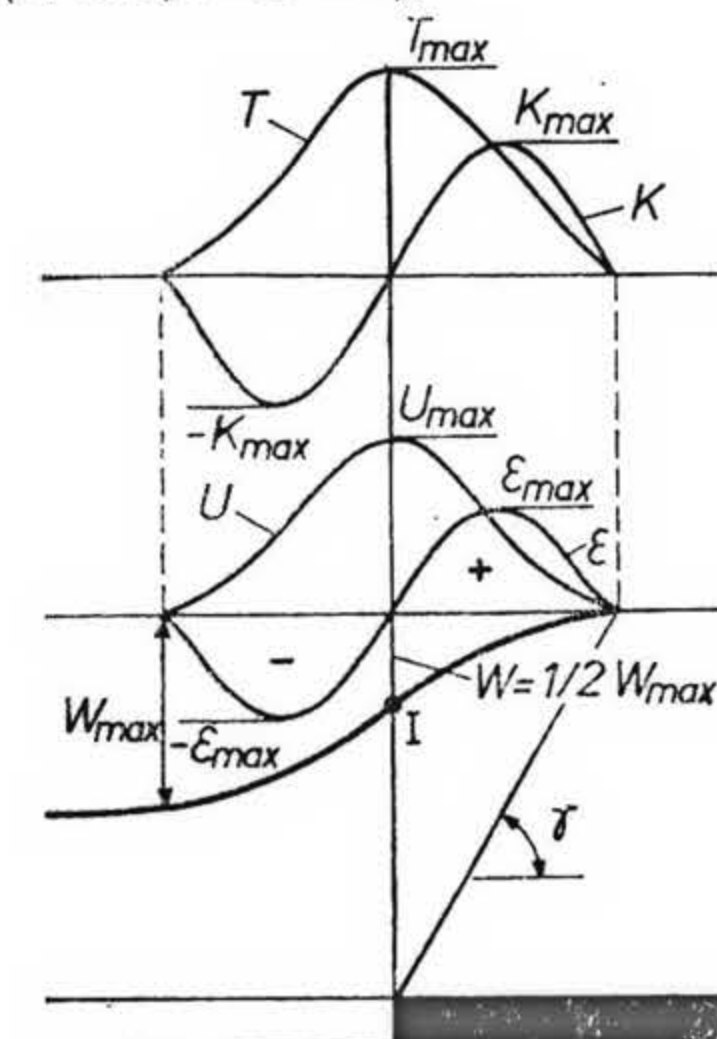


Fig. XVI.140. Dependența matematică între curbele de deplasare și deformare.

De asemenea, pentru valoarea zero a deformațiilor specifice orizontale, curba deplasărilor orizontale prezintă un maxim.

Această dependență între curbele de deplasare și deformare poate fi exprimată matematic sub forma:

— dacă $W(x)$ exprimă funcția curbei deplasărilor verticale, atunci ecuația curbei înclinărilor va fi $T(x) = \frac{dW}{dx}$, iar ecuația curbei curburii albiei de scufundare, $K(x) =$

$$= \frac{d^2 W}{dx^2};$$

— dacă $U(x)$ exprimă funcția curbei deplasărilor orizontale, atunci ecuația curbei deformațiilor orizontale va fi $\varepsilon(x) = \frac{dU}{dx}$.

De fapt, această dependență matematică rezultă din însăși modul de ridicare prin metode topografice a acestor curbe de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatarei subterane.

S. G. Avershin, pe baza studierii unui foarte mare număr de măsurători topografice, a stabilit că între curba înclinării și curba deplasărilor orizontale poate fi acceptată o legătură de forma:

$$U(x) = B(y)T(x) \text{ de unde } U(x) = B(y) \frac{dW}{dx} \quad (7.1)$$

unde:

$B(x)$ este funcție dependentă de adâncimea de exploatare și de caracteristicile geologice ale zăcămintului. Se stabilește experimental pentru fiecare bazin în parte.

Ținând seama de cele arătate mai sus, rezultă că și

$$\varepsilon(x) = B(y) \frac{dU}{dx} \text{ sau } \varepsilon(x) = B(y) \frac{d^2 W}{dx^2} \quad (7.2)$$

De asemenea, rezultă că dacă se poate găsi o funcție matematică care să exprime deplasările verticale $W(x)$, prin derivări succesive și ținând seama de legătura între $U(x)$ și $T(x)$ dată de Avershin — se pot stabili ecuațiile celorlalte curbe de deplasare și deformare a suprafeței terenului.

7.2.2. EVOLUȚIA METODELOR DE CALCUL A DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMĂRILOR SUPRAFEȚEI TERENURILOR

După modul cum a fost rezolvată problema, teoriile și metodele matematice elaborate se pot împărți în două mari clase:

I. Teorii ce au la bază relații empirice, deduse pe baza observațiilor topografice și prin intuiții, privind modul de manifestare a fenomenului. Aceste teorii au astăzi numai o importanță istorică și de documentare.

II. Metode matematice, elaborate fie pe baza prelucrării rigurose matematice a observațiilor topografice, fie că se axează pe legi de comportament a corpurilor solid de-

formabile. Acestea, în funcție de modul cum au rezolvat problema, pot fi clasificate în trei grupe și anume:

1) Teorii ce descriu fenomenul de mișcare a suprafeței terenurilor cu ajutorul ecuațiilor sub formă integrală și se bazează pe o exprimare geometrică a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor.

Conform acestor teorii, scufundarea suprafeței într-un punct determinat se calculează cu ajutorul unei integrale de suprafață, a funcției de influență, pe domeniul ce reprezintă proiecția suprafeței de strat exploatat în plan orizontal.

Ecuația generală a scufundării are forma:

$$W(x) = W(S) \int \varphi(x, s) ds \quad (7.3)$$

unde: $W(S)$ este funcția ce descrie scufundarea maximă a suprafeței terenurilor, a cărei valoare diferă de la autor la autor și de la un bazin minier la altul;

$\varphi(x, s)$ — funcția de influență, a cărei formă algebrică diferă de la un autor la altul.

Din această grupă fac parte o serie de metode matematice de calcul de prognoză elaborate în U.R.S.S., R. F. Germania, Anglia, Polonia, Ungaria, România etc.

2) Teorii ce au la bază anumite legi ale teoriei elasticității și plasticității, care stabilesc deformarea și deplasarea suprafeței terenurilor prin așa-zisele ecuații de stare ce dau legătura dintre tensiuni și deformații. Din această grupă fac parte teoriile unor cercetători sovietici, polonezi și români.

3) Metode de calcul ce au la bază legi ale mecanicii stochastice. Din această grupă face parte metodologia de calcul elaborată de cercetătorul polonez J. Litwiniszyn.

Dintre cele trei grupe de metode, cele din grupa întâi și a doua au o largă aplicabilitate, practică, fiind frecvent folosite în calculul de prognoză a deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor în bazine miniere din diferite țări.

7.3. METODE MATEMATICO-ANALITICE DE CALCUL A PARAMETRILOR SCUFUNDĂRII

În practică apare o mare varietate de albie de scufundare. Pentru a cunoaște exact fenomenul formării albiei de scufundare și construirea modelului ei matematic, trebuie să se aibă în vedere acea albie reală care este conformă cu condițiile acceptate în teoria dată și descrie procesul de scufundare. Condițiile ce se află la baza rezolvării teoretice a problemei acceptate de majoritatea autorilor sînt:

- albia de scufundare a luat naștere ca efect al exploatarei unui singur strat;
- marginea frontului de exploatare este dreaptă și suficient de lungă;
- se consideră profilul albiei de scufundare perpendicular pe frontul de exploatare;
- albia de scufundare exprimată prin relații matematice este ultima formată, aceasta însemnând că mișcarea terenului s-a terminat — fiind denumită *albie statică*, în opoziție cu *albia dinamică*, ce se creează în timpul avansării frontului de exploatare sau după oprirea lui, dacă nu a apărut integrala liniștire a terenului;

— suprafața de strat extrasă este suficient de mare pentru a lua naștere albiei de scufundare critice sau supracritice;

- adâncimea de exploatare este suficient de mare pentru ca scufundarea suprafeței să aibă un caracter continuu;
- rocile masivului să dovedească un mare grad de omogenitate și să lipsească deranjamentele tectonice.

7.3.1. STRATE ORIZONTALE ȘI CU ÎNCLINARE MICĂ

Teoria Bayer. Autorul împarte suprafața de strat exploatată în suprafețe elementare și consideră că scufundarea unui punct de la suprafață este funcție de distanța r , a suprafeței elementare exploatată față de centrul suprafeței totale exploatate (fig. XVI.141).

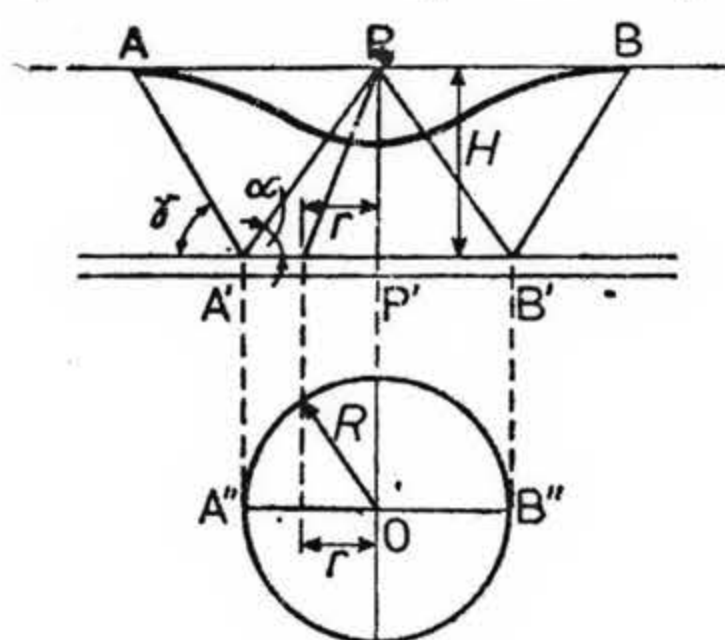


Fig. XVI.141. Schemă de calcul a scufundării verticale conform teoriei Bayer.

XVI.141). Scufundarea verticală produsă de acel element de suprafață se determină cu relația:

$$K_s = c (1 - i)^2 \text{ unde } i = \frac{r}{R} \quad (7.4)$$

Fiecare suprafață elementară exploatată determină asupra terenului de la zi o anumită zonă de influență, a cărei suprafață se poate calcula prin integrarea relației (7.4).

$$I_s = 2\pi c \int_D^R \left(1 - \frac{r}{R}\right) r \cdot dr \quad (7.5)$$

După efectuarea integrării și din fig. XVI. 141, notînd $R = H \operatorname{ctg} \gamma$, se obține expresia :

$$I_p = \pi c H^2 \operatorname{ctg}^2 \gamma \left(i^2 - i^4 + \frac{i^6}{3} \right) \quad (7.6)$$

în care $0 < i < 1$.

Pentru $i = 1$ și $r = R$ se obține relația pentru calculul scufundării totale.

$$I_s = \frac{\pi}{3} c H^2 \operatorname{ctg}^2 \beta = W_{max} \quad (7.7)$$

de unde rezultă că:

$$c = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{W_{max}}{R^2} \quad (7.8)$$

$W_{max} = a \cdot m$ este scufundarea maximă, unde: m este grosimea stratului;

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii rocilor în abataj (valorile sînt date în tabelul XVI.39).

Tabelul XVI.39

Valoarea coeficientului a din teoria Knothe-Budry funcție de metoda de dirijare a presiunii în abataj

Metoda de dirijare a presiunii rocilor în abataj	Valoarea coeficientului a
Surpare totală	0,6—0,8
Rambleiere parțială	0,5—0,6
Rambleiere totală executată cu mașini de rambleiat	0,4—0,5
Rambleiere totală pneumatică	0,25—0,30
Rambleiere hidrolică normală	0,1—0,12
Rambleiere hidrolică sub presiune	0,08—0,1
Exploatarea în camere cu rambleu hidrolic sub presiune și cimentare	0,02—0,08

Teoria King — Wardell. A fost elaborată pentru zăcămintele cu înclinare mică, grosime mică și medie, din bazinele miniere din Anglia, luîndu-se în considerare alții statice-simetrice de scufundare. Metoda de calcul face parte din grupa teoriilor geometrice.

Bazați pe numeroase măsurători topografice, autorii propun pentru curba de profil principal următoarea ecuație:

$$W_i = W_0 \cdot a \cdot \operatorname{tg} h \frac{b \cdot x}{H} \quad (7.9)$$

în care: W_i este scufundarea verticală într-un punct;

W_0 — scufundarea maximă;

a și b — constante care se determină în condițiile la limită și anume, că în punctele de inflexiune scufundarea reprezintă jumătate din scufundarea maximă (fig. XVI.142).

Astfel:

$$W = \pm \frac{1}{2} W_0 \quad (7.11)$$

$$\text{pentru } x = \pm \infty; \quad a = \frac{1}{2}$$

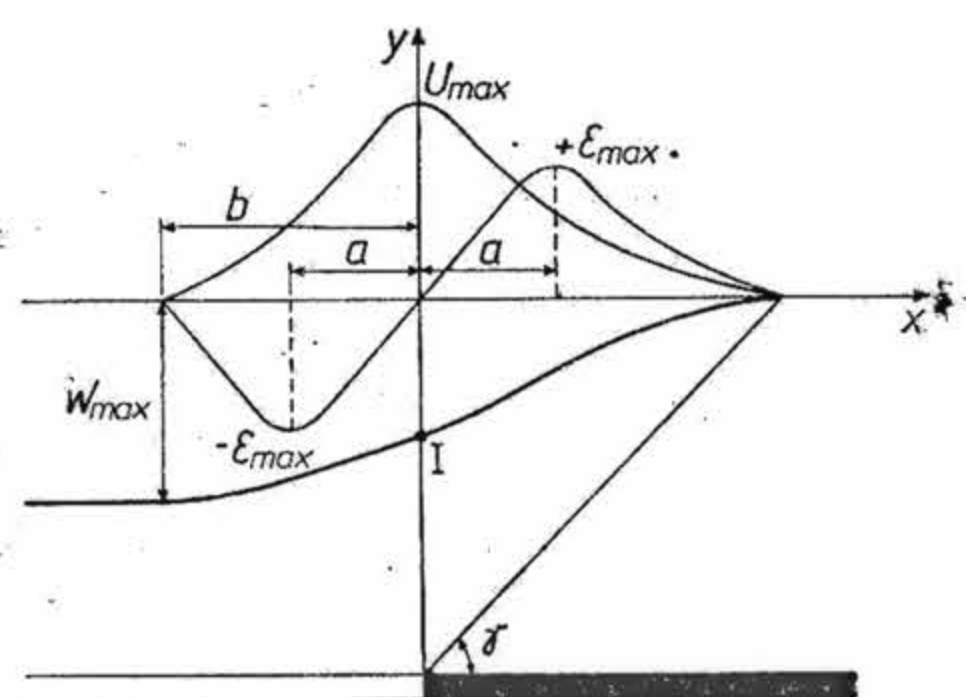


Fig. XVI.142. Calculul albiei de scufundare după King-Wardel.

A doua constantă se determină ținând cont de rezultatele măsurătorilor practice, după care înclinarea este maximă în punctul de inflexiune.

Deci dacă:

$$\left(\frac{dW}{dx}\right)_{max} = \frac{b W_0}{2 H} = \frac{3 W_0}{H} \quad (7.10)$$

Ținând cont de valoarea constantei $a = \frac{1}{2}$, atunci $b = 6$. În final ecuația care definește curba de profil principal are forma

$$W = \frac{W_0}{2} \operatorname{tg} h \frac{6x}{H} \quad (7.11)$$

Scufundarea maximă, W_0 , se calculează cu relația:

$$W_0 = a \cdot m \quad [m] \quad (7.12)$$

în care m este grosimea stratului ce se exploatează, m;

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii în abataj (valorile vor fi date în cadrul teoriilor Knothe-Budryk).

Metoda de calcul S. G. Averșin. Are la bază interpretarea geometrică a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane, obținute din măsurătorile topografice efectuate în bazinele Moscova și Donbas. Autorul se situează cu teoria sa în cazul albiilor de scufundare static-asimetrice. Albiile de scufundare

static-asimetrice sînt caracterizate prin deplasarea punctului de inflexiune a acestora spre spațiul exploatat (fig. XVI. 143). Relațiile de calcul date au la bază o exprimare geometrică a alburii curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor.

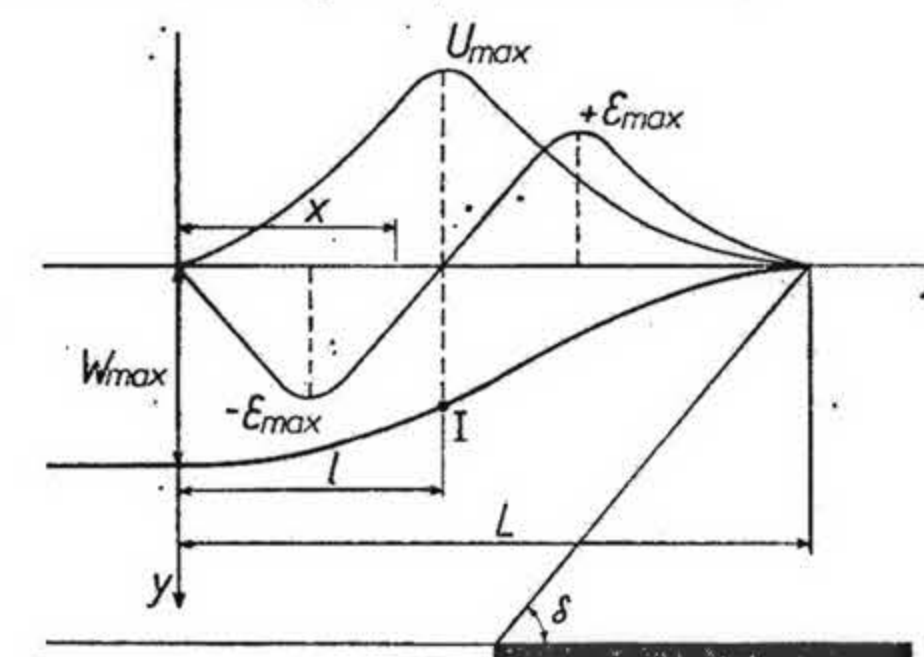


Fig. XVI.143. Profilul albiei de scufundare, după S. G. Averșin.

Pentru determinarea scufundării verticale a unui punct de la suprafața terenului se propune o relație de forma:

$$W(x) = W_{max} \left(1 - \frac{x}{2,13 l}\right)^{4,54} \exp\left(2,13 \frac{x}{l}\right) \quad (7.13)$$

în care: l este distanța de la punctul cu deplasarea verticală maximă pînă la punctul de inflexiune al albiei de scufundare;

x — punctul de la suprafață pentru care se cere calculul deplasărilor verticale;

H — adîncimea de exploatare a stratului;

W_{max} — scufundarea verticală maximă, pentru care se recomandă folosirea relației:

$$W_{max} = \frac{m \cdot a}{a + \sqrt{H}} \quad [m] \quad (7.14)$$

în care: m este grosimea stratului care se exploatează, m;

a — coeficient care reflectă latura fizică a condițiilor de tasare, avînd valori cuprinse între 22 și 25.

Pe baza relației (7.13) și luînd în considerare dependența matematică între curbele de deplasare și deformare, se determină valoarea maximă a curbei înclinării:

$$T_{max} = 0,9 \frac{W_{max}}{l} \quad [mm/m] \quad (7.15)$$

și va apare în punctul de inflexiune al albiei de scufundare.

Valoarea maximă a curbei curbării albiei de scufundare se calculează cu relația:

$$K_{max} = 1,39 \frac{W_{max}}{l^2} \quad [km^{-1}] \quad (7.16)$$

și aceasta apare la distanța $1,5 l$ de la mijlocul albiei de scufundare.

După *Aversin*, pentru strate horizontale și cu înclinare mică, între curba înclinării și curba deplasărilor orizontale există o dependență dată de relația (7.1). Deplasările orizontale maxime se pot atunci calcula cu relația:

$$U_{max} = B(y) T_{max} = B(y) 0,9 \frac{W_{max}}{l} \quad [\text{mm}] \quad (7.17)$$

Ținând seama de relația (7.2), deformațiile specifice orizontale maxime (de compresiune și tracțiune) se determină cu relația:

$$\varepsilon_{max} = B(y) 1,39 \frac{W_{max}}{l^2} \quad [\text{mm/m}] \quad (7.18)$$

În care $B(y)$ este o funcție dependentă de adâncimea de exploatare și reprezintă un parametru care exprimă distanța de la suprafață până la punctul din interiorul masivului de roci care nu suferă deformări, mai precis grosimea pachetului de roci din masiv de la suprafață spre interior, care se deformează fără desprinderea după planele de stratificație.

Pentru condițiile de zăcămint din bazinele miniere Moscova și Donbas, valoarea lui $B(y)$ este cuprinsă între 10–20 m și este funcție de adâncimea de exploatare.

Pentru alte condiții de exploatare, $B(y)$ poate fi calculat cu relația:

$$B(y) = \frac{\frac{dU}{dt}}{\frac{d^2 W}{dx \cdot dt}} \quad (7.19)$$

În care: $\frac{dU}{dt}$ este viteza de variație a deplasărilor orizontale;

$\frac{d^2 W}{dx \cdot dt}$ — viteza de variație a înclinării albiei de scufundare.

Pentru strate horizontale și cu înclinare mică *Aversin* stabilește o relație de legătură între distanța l și L , semilungimea albiei de scufundare (fig. XVI. 143):

$$L = 2,13 l \quad (7.20)$$

Valoarea parametrului l poate fi calculată cu relația generalizată

$$l = \frac{W_{max}}{m} \cdot x \quad [\text{m}] \quad (7.21)$$

sau cu relația:

$$l = 0,7H \quad [\text{m}] \quad (7.22)$$

Teoria lui Martos. Pe baza numeroaselor măsurători topografice efectuate în bazinele miniere din Ungaria și a experiențelor pe modele din materiale echivalente, *Martos* ajunge la concluzia că se situează în cazul albiilor de scufundare static-asimetrice

(fig. XVI. 144). În cazul stratelor orizontale și de înclinare mică, curba de profil principal a albiei de scufundare se poate exprima în mod satisfăcător, pentru nevoile practice, prin curba de probabilitate *Gauss* de forma:

$$W(x) = W_0 \cdot e^{-ax^2} \quad (7.23)$$

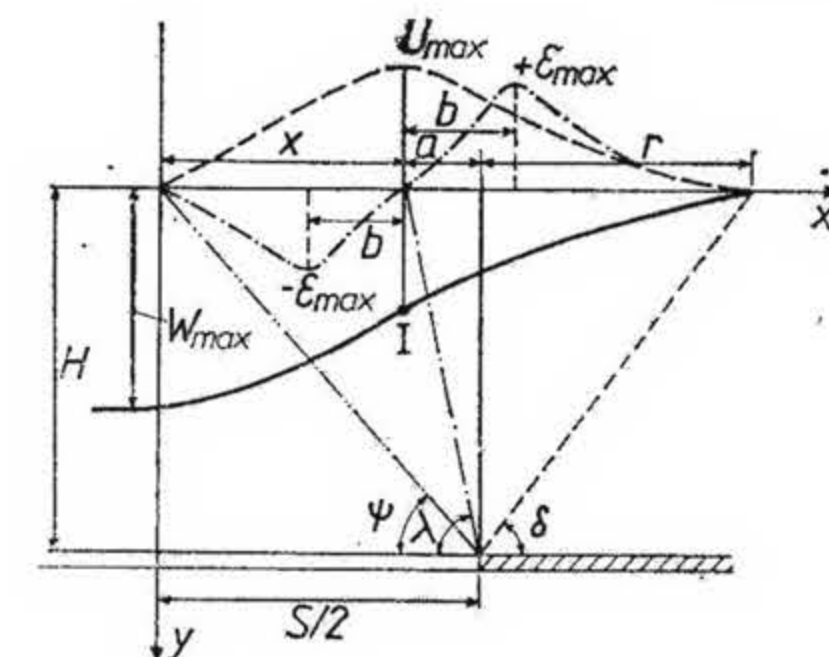


Fig. XVI.144. Profilul albiei de scufundare și calculul parametrilor după Martos.

Exponentul a se determină din condiția că punctul de inflexiune al albiei de scufundare să se afle în punctul $x = \pm i$, adică:

$$\left(\frac{d^2 W}{dx^2} \right)_x = \pm 2a W_0 e^{-ax^2} (1 - 2ax^2) \quad (7.24)$$

Punând condiția ca relația (7.24) să fie egală cu zero, se obține:

$$a = \frac{1}{2i^2} \quad (7.25)$$

În acest caz relația (7.23) are forma finală:

$$W = W_0 \exp. \left(-\frac{x^2}{2i^2} \right) \quad (7.26)$$

Scufundarea maximă W_0 , propune autorul, să fie determinată prin relația (7.14) dată de *Aversin*.

Din relația (7.26), pe baza dependențelor între curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor și a relațiilor (7.1 și 7.2) pot fi stabiliți și ceilalți parametri ai scufundării.

Teoria Knothe-Budryk. Este prima teorie care a încercat să lege fenomenul de scufundare-tasare a terenurilor sub influența exploatării subterane, de deplasarea și deformarea întregului masiv de roci în mișcarea sa spre spațiul exploatat. Pentru prima dată se reușește să se dea o legătură între mișcarea suprafeței terenului și fenomenul de manifestare a presiunii în abataj. Rezolvarea problemei influenței exploatării subterane asupra suprafeței de la zi în concepția lui *Knothe* are la bază curba de influență (fig. XVI. 145).

Se consideră că punctul A , situat la suprafața terenului, este supus mișcării datorită exploatării unui strat pe o suprafață S , de grosime m și care se află la adâncimea H .

Împărțind suprafața exploatată S , în suprafețe elementare ΔS , acestea vor produce asupra punctului A o scufundare, a cărei componentă verticală W_i va fi dată de o funcție oarecare:

$$\Delta W_i = \Delta S_i g(x_i, y_i) \quad (7.27)$$

unde: $g(x, y)$ este o anumită funcție ce descrie mișcarea punctului A spre spațiul exploatat; x_i, y_i sînt coordonatele punctului în sistemul de axe acceptate.

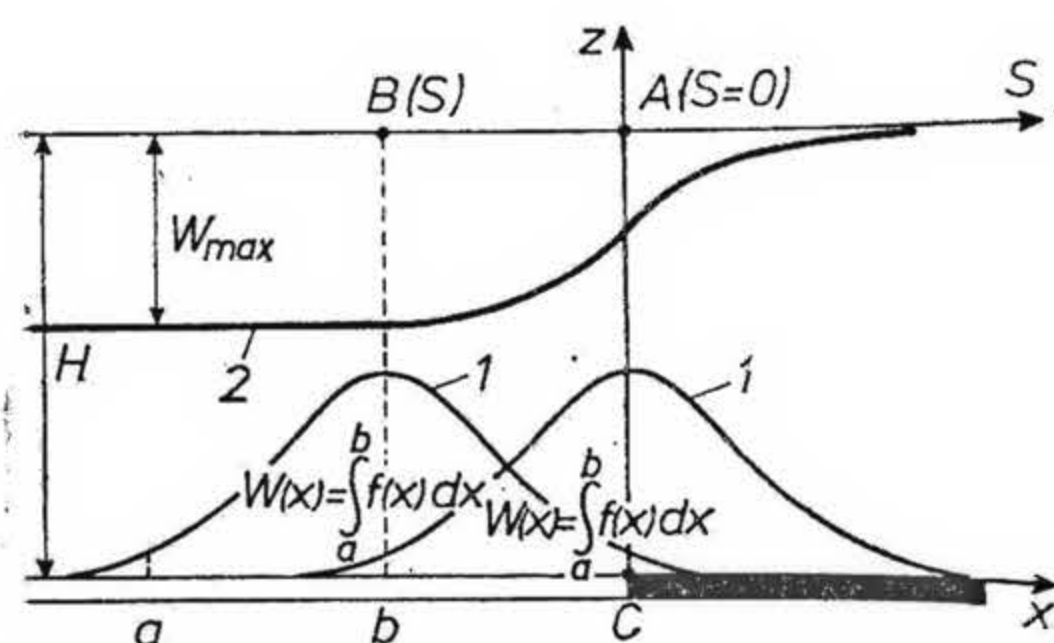


Fig. XVI.145. Curba albiei de scufundare, ca rezultat al curbei de influență, după Knothe-Budryk:
1 — curba de influență; 2 — albia de scufundare.

Pe baza legii superpoziției, scufundarea totală a punctului A , din momentul $t=0$ și pînă la timpul t' , adică pînă în momentul extragerii succesive a suprafețelor elementare S_i pe întreaga suprafață S este dată de:

$$\sum_{i=1}^n g(x_i, y_i) S_i \quad (7.28)$$

Cînd suprafețele elementare S tind către zero, scufundarea totală va fi:

$$W_{max} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) dx \cdot dy \quad (7.29)$$

Tratînd în continuare problema în plan și orientînd abatajul cu lungimea sa infinită, paralelă cu axa y (fig. XVI. 145), analog cu funcția $g(x, y)$ trebuie să existe o funcție $f(x)$ care să descrie mișcarea punctului A ,

Funcția $f(x)$ trebuie să aibă o astfel de proprietate, încît punctul A de pe suprafața terenului să fie supus unei influențe cu atît mai mari, cu cît abatajul se apropie mai mult de proiecția orizontală a punctului A , după care influența spațiului exploatat scade. Dacă abatajul avansează din punctul a în punctul b (fig. XVI. 145), scufundarea punctului va fi:

$$W_i = - \int_a^b f(x) dx \quad (7.30)$$

Funcția $f(x)$ a fost denumită *funcția de influență principală* ce descrie mișcarea unui punct din masivul de roci (implicit de la suprafața terenului) spre spațiul exploatat.

Stratul de cărbune exploatîndu-se pe o suprafață foarte mare în limitele $+\infty, -\infty$, scufundarea verticală maximă a punctului A poate fi dată de relația:

$$W_{max} = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \quad (7.31)$$

Dependența dintre curba de influență și profilul albiei de scufundare. Se consideră că frontul de exploatare a unui strat la adîncimea H se deplasează de la $-\infty$ pînă la o anumită limită, unde se acceptă originea axelor de coordonate (fig. XVI. 145). Abscisa unui punct în sistemul de coordonate adoptat se notează la suprafață prin S , iar în planul stratului prin x . Mișcarea unui punct oarecare B , de coordonată S , de la suprafața terenului, este descrisă de funcția de influență $f(x-s)$, ce prezintă o axă de simetrie în punctul $x=s$. Această curbă se obține prin deplasarea succesivă a curbei descrisă de ecuația $f(x)$, ce corespunde punctului $A(s=0)$ situat deasupra marginii frontului de abataj (7.14). Scufundarea totală a unui punct oarecare de la suprafață, ca efect al exploatării unui strat în limitele de la $x=-\infty$ la $x=0$, conform relației (7.29) va fi:

$$W_k(s) = - \int_{-\infty}^0 f(x-s) dx \quad (7.32)$$

După cum se vede din figură,

$$W_k(s) = - \int_{-s}^{\infty} f(x) dx \quad (7.33)$$

Ultima relație exprimă legătura dintre *curba de influență* și mișcarea unui punct de la suprafață situat deasupra marginii frontului de abataj, avînd coordonatele $s=0$.

Ecuația profilului albiei de scufundare va avea în acest caz următoarea formă:

$$F(x) = H - \int_x^{\infty} f(\lambda) d\lambda \quad (7.34)$$

Raportînd ecuația profilului albiei de scufundare la sistemul de axe O, x , în planul stratului putem scrie:

$$F(x) = - \int_x^{\infty} f(\lambda) d\lambda \quad (7.35)$$

Integrînd expresia (7.35) se obține:

$$F(x) = - f(x) \quad (7.36)$$

De unde rezultă:

„Curba de influență corespunde punctului situat deasupra marginii frontului de exploatare și reprezintă derivata ecuației albiei de scufundare, ultima formată, denumită *albie de scufundare statică simetrică*”¹⁾.

Având la bază suportul teoretic prezentat, și pe baza analizei unei multitudini de profile ale albiei de scufundare obținute din măsurători topografice în bazinul Sileziei, autorii au ajuns la concluzia că linia profilului albiei de scufundare poate fi descrisă de ecuația integrală a funcției de probabilitate Gauss, de forma:

$$f(x) = W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \exp(-h^2 x^2) \quad (7.37)$$

Ecuația (7.35) permite în continuare să se analizeze profilul albiei de scufundare static-simetrică. Înlocuind curba de influență printr-un triunghi, se observă că suprafața acestuia este egală cu scufundarea maximă W_{max} , iar înălțimea are valoarea maximului curbei de influență (fig. XVI. 146).

$$f(0) = W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \quad (6.37)$$

Această înlocuire a curbei de influență, cu un triunghi, limitează mișcarea suprafeței terenului până la o anumită distanță r , egală cu jumătatea bazei triunghiului.

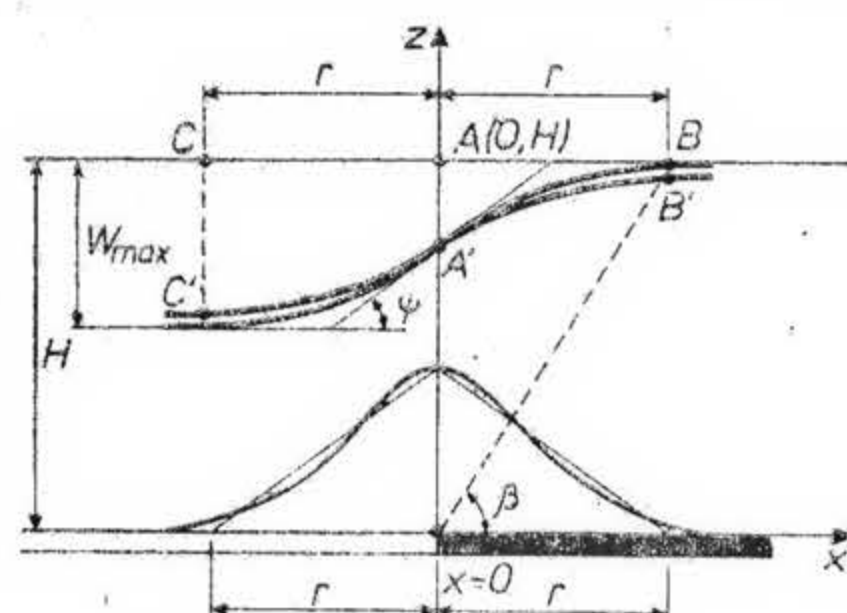


Fig. XVI.146. Linia profilului albiei de scufundare dedusă pe baza triunghiului de influență.

În această situație, punctul B situat la dreapta marginii frontului de abataj va avea scufundarea verticală nulă, iar punctul C, simetric situat la stînga, va avea scufundarea verticală egală cu W_{max} (fig. XVI. 146). Scufundarea verticală a unui punct în intervalul C, B se calculează cu relația:

$$W_k = - \int_r^\infty W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 x^2} dx \quad (7.39)$$

1) Pentru prima dată în literatura de specialitate, prin metodologia de rezolvare dată, Knothe a introdus noțiunea de *albie de scufundare statică-simetrică*. Albia de scufundare statică-simetrică este acea albie în care cele două ramuri în raport cu marginea frontului de abataj au o dezvoltare egală, iar scufundarea în punctul de inflexiune reprezintă jumătate din scufundarea maximă. De la introducerea acestor noțiuni se consideră începutul rezolvărilor riguroase matematice a problemei de scufundare a terenului supus influenței exploatare subterane, date de diferiți autori.

Valoarea parametrului h se determină din condiția că suprafața triunghiului de influență este egală cu scufundarea verticală, W_{max} .

Ținând seama de relația (7.37), suprafața triunghiului de influență va fi:

$$\frac{1}{2} 2 r W_{max} \cdot \frac{h}{\sqrt{\pi}} = W_{max} \quad (7.40)$$

de unde:

$$r = \frac{\sqrt{\pi}}{h} \text{ și } h = \frac{\sqrt{\pi}}{r} \quad (7.41)$$

Introducând în relația (7.37) valoarea parametrilor h , ecuația curbei albiei de scufundare devine:

$$f(x) = \frac{W_{max}}{r} \exp\left(-\frac{\pi}{r^2} x^2\right) \quad (7.42)$$

unde: r este denumit *parametrul razei principale de influență a deplasării și deformării suprafeței* și se calculează cu relația:

$$r = \frac{H}{\tan \beta_s}, \quad r = \frac{H}{\tan \gamma_s} \text{ sau } r = \frac{H}{\tan \delta_s} \quad (7.43)$$

în care: $\beta_s, \gamma_s, \delta_s$ sînt valorile unghiurilor de scufundare¹⁾.

Pe baza celor de mai sus se poate scrie în final ecuația finală a curbei albiei de scufundare rezultată ca efect al exploatare unui strat în limitele de la $x = -\infty$ la $x = 0$ în forma:

$$F(x) = - \frac{W_{max}}{r} \int_x^\infty e^{-\frac{\pi}{r^2} \lambda^2} d\lambda \quad (7.44)$$

Relații de calcul a parametrilor scufundării conform teoriei Knothe — Budryk. Avînd la bază suportul teoretic prezentat, ecuația albiei de scufundare dată de relația (7.44) și dependența matematică ce există între curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenului, autorii au stabilit relații de calcul a parametrilor scufundării, pentru un punct, x aflat la suprafața terenului.

— scufundarea verticală într-un punct oarecare, $W(x)$:

$$W(x) = \frac{W_{max}}{r} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{\pi \lambda^2}{r^2}\right) d\lambda \quad (7.45)$$

1) Pentru bazinul Sileziei inferioare din Polonia se consideră că unghiurile de scufundare, transversale pe zăcămint și după direcția zăcămintului, sînt egale, adică $\beta_s = \gamma_s = \delta_s$.

— înclinarea curbei scufundării verticale,

$$T(x) = \frac{W_{max}}{r} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \quad (7.46)$$

— curbura albiei de scufundare

$$K(x) = -\frac{2\pi W_{max}}{r^3} x \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \quad (7.47)$$

— curba deplasărilor orizontale;

$$U(x) = 0,4 W_{max} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \quad (7.48)$$

— curba deformațiilor specifice orizontale,

$$\varepsilon(x) = \frac{2\pi}{r^2} U_{max} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \quad (7.49)$$

Tabelul XVI.40

Valorile integralei și funcției exponențiale din teoria Knothe—Budryk

x	$\frac{1}{r} \int_x^\infty e^{-\frac{x^2}{r^2}} dx$	$e^{-\frac{\pi x^2}{r^2}}$
-1,0 r	0,9939	0,0432
-0,8 r	0,9775	0,1340
-0,6 r	0,9337	0,3230
-0,4 r	0,8420	0,6065
-0,2 r	0,6920	0,8869
±0	0,5000	1,00
0,2 r	0,3081	0,8869
0,4 r	0,1581	0,6065
0,6 r	0,0664	0,3230
0,8 r	0,0225	0,1340
1,0 r	0,0061	0,0432

Valoarea maximă a acestor parametrii, conform relațiilor (7.45), (7.49) și ținând seama de relația (7.37), poate fi dedusă din expresiile:

— scufundarea maximă

$$W_{max} = a \cdot m \quad [\text{mm sau m}] \quad (7.50)$$

— înclinarea maximă,

$$T_{max} = \frac{W_{max}}{H} \operatorname{tg} \beta \quad [\text{mm/m}] \quad (7.51)$$

— deplasarea orizontală maximă

$$U_{max} = 0,4 W_{max} \quad [\text{mm}] \quad (7.52)$$

— deformarea orizontală maximă

$$\varepsilon_{max} = \pm 0,6 \frac{W_{max}}{H} \operatorname{tg} \beta \quad [\text{mm/m}] \quad (7.53)$$

— curbura maximă a albiei de scufundare

$$K_{max} = \pm 1,52 \frac{W_{max}}{H^2} \operatorname{tg}^2 \beta \quad (7.54)$$

În care: m este grosimea stratului ce se exploatează;

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii în abataj, având valorile din tabelul XVI. 39.

Dacă se impune să se calculeze scufundarea unui punct carecare, x , supus influenței exploatarei subterane, pentru ușurința calculelor, în tabelul XVI. 40 sînt prezentate valorile integralei și funcției exponențiale ce însoțesc parametrii dați de relațiile (7.50) și (7.54).

În domeniul industriei extractive

AU MAI APĂRUT ÎN LIBRĂRII :

1. LUCIA TOCACI, M. GURAN, LIDIA MIHĂILESCU, P. ILIE,
N. GOLCEA
Mineralurgie, vol. I
2. S. TAT, M. ZAPOROJAN, K. FISSGUS
Explozivi și tehnica împușcării în industrie
3. A. SIMIONESCU, I. DIJMĂRESCU
Organizarea și conducerea activităților miniere
4. I. MARIAN
Mecanizarea transportului minier în subteran
5. L. PAVELESCU, I. ENE
Mineralogia și geologia substanțelor radioactive
6. I. BERBELEAC
Zăcămintele de aur

— VOR APĂREA —

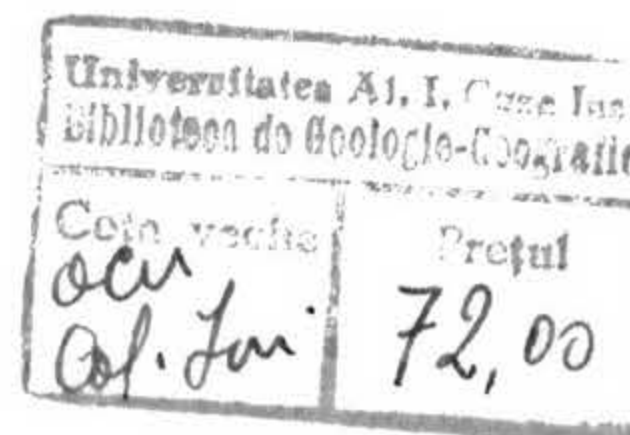
1. GH. DINCĂ R. CATILINA, T. BURTIC
Protecția împotriva radiațiilor nucleare la cercetarea, extracția și prelucrarea substanțelor minerale utile
2. V. ȘERBAN, GUȚ T.
Bismutul, arseniul și stibiul
3. D. FODOR R. SCHWEIGHOFER
Valorificarea complexă a rocilor ornamentale

4. A. TODORESCU
Reologia rocilor cu aplicații în minerit
5. E. HUIDU, I. JESCU
Cartea minerului de la exploatare la zi
6. M. GEORGESCU
Optimizarea metodelor de exploatare a zăcămintelor de minereuri
7. S. PAULIUC, C. DINU
Geologie structurală
8. O. CLICHICI, SL. STOICI
**Cercetarea geologică a substanțelor minerale utile solide
Îndrumător practic**
9. D. GIUȘCĂ
Mineralogie structurală
10. M. MURGU
Evaluarea geologică și industrială a zăcămintelor minerale
11. I. PETRESCU (coordonator)
Geologia zăcămintelor de cărbuni, vol. I
12. V. BRANA, C. AVRAMESCU, I. CĂLUGĂRU
Substanțe minerale nemetalifere
13. A. POPA (coordonator)
Manualul inginerului de mine, vol. III

Din cuprinsul

MANUALULUI INGINERULUI DE MINE, Vol. III

Procedee de extragere ; Explozivi minieri ; Săparea și susținerea lucrărilor miniere ; Exploatarea zăcămintelor prin lucrări miniere la zi.



MANUALUL INGINERULUI DE MINE



EDITURA TEHNICĂ

Acest al II-lea volum al Manualului inginerului de mine cuprinde următoarele secțiuni:

X. Prospectiunea (geologică, geofizică, geochimică); XI. Explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile (prin lucrări miniere, foraje și combinat); XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile; XIII. Carotajul geofizic; XIV. Evaluarea rezervelor zăcămintelor de substanțe minerale utile; XV. Topografie minieră și fotogrammetrie terestră; XVI. Mecanica rocilor.

Se adresează cadrelor tehnice (ingineri, geologi, subingineri tehnicieni, maiștri) care activează în domeniile cercetării geologice (prospecțiuni și exploatare), exploatare și preparării substanțelor minerale utile solide, constituind totodată un material ajutător pentru studenții facultăților de mine și geologie.

MANUALUL INGINERULUI DE MINE



Coordonator :

Dr. docent ing. ARON POPA
Profesor universitar emerit



173966
B.C.U. - IASI



EDITURA TEHNICĂ
București - 1985

Colectivul de autori:

Prof. dr. docent, ing. **RADU BOTEZATU**

Membru corespondent al Academiei R.S. România

Prof. dr. docent, ing. **ARON POPA**

Prof. dr. docent **GRATIAN CIOFLICA**

Prof. dr. ing. **NICOLAE DIMA**

Conf. dr. ing. **CORNEL HIRIAN**

Conf. dr. ing. **GHEORGHE ONCIOIU**

Şef lucrări, dr. ing. **AURELIAN NEGUŢ**

Şef lucrări, dr. ing. **IONIŢĂ PĂDURE**

Şef lucrări, dr. ing. **ADRIAN TODORESCU**

Şef lucrări ing. **STANCA NICULESCU**

Lector dr. **OVIDIU DRAGASTAN**

Lector dr. **IOAN MĂLDĂRESCU**

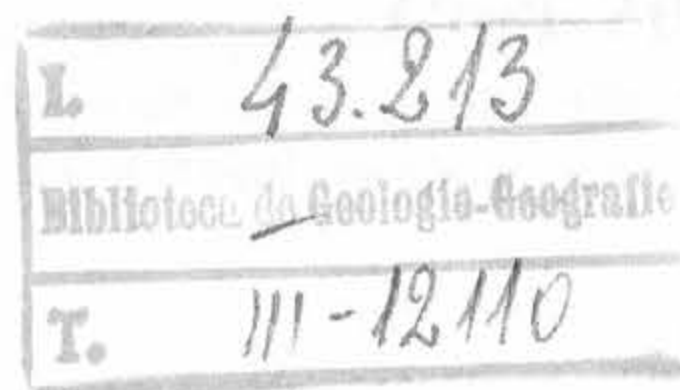
Lector **IOSIF DRĂGHICI**

Dr. ing. **IULIU SILAŞ**

Ing. **VIORREL VIERESCU**

Ing. **FILOMENOS SAVIN**

Ing. **VIORREL BRÂNDA**



Redactor: ing. **MARIANA CHEPTEA**

Tehnoredactor: **ELLY GORUN**

Coperta: **ŞTEFAN PĂRĂU**

Bun de tipar: 6.09.1985 Coli de tipar: 48,5 C.Z.: 622(039)



I. P. Informația str. Brezoianu nr. 23-25

Cuprins

X PROSPECȚIUNEA		
1. <i>Prospecțiunea geologică</i>	13	
1.1. Premise geologice fundamentale	13	
1.1.1. Premise structurale	14	
1.1.2. Premise magmatice	17	
1.1.3. Premise lito-stratigrafice	22	
1.1.4. Premise paleogeografice	23	
1.1.5. Premise metamorfice	25	
1.1.6. Premise geochemice	26	
1.2. Indicatori în prospecțiunea geologică	29	
1.2.1. Indicatori naturali	29	
1.2.2. Indicatori proveniți din alte surse	36	
1.3. Metode geologice de prospecțiune	40	
1.3.1. Prospecțiunea prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale	40	
1.3.2. Prospecțiunea prin cartare geologică pe baza fragmentelor cu minerale utile	42	
1.3.3. Prospecțiunea prin cartare geologică pe baza concentratelor de minerale utile	43	
2. <i>Prospecțiunea geofizică</i>	46	
2.1. Posibilități și limitări fizice, geologice și economice ale utilizării prospecțiunilor geofizice	49	
2.2. Complexul de metode geofizice specifice problemelor de geologie minieră	59	
2.2.1. Prospecțiunea geomagnetică	59	
2.2.2. Prospecțiunea gravimetrică	61	
2.2.3. Prospecțiunea electrometrică	63	
2.2.4. Prospecțiunea radiometrică	68	
2.2.5. Prospecțiunea seismometrică	68	
2.2.6. Prospecțiunea geotermică	71	
2.2.7. Teledetecția	72	
2.2.8. Cercetări geofizice în subteran	73	
2.3. Interpretarea geologică a informațiilor geofizice condiționate de acumulările de substanțe minerale solide	75	
2.3.1. Mineralizații de metale feroase	76	
2.3.2. Mineralizații de metale neferoase	80	
2.3.3. Mineralizații auro-argentifere	86	
2.3.4. Mineralizații de elemente radioactive, rare și disperse	88	
2.3.5. Acumulări de substanțe nemetalifere și roci utile	90	
2.3.6. Zăcămintele de cărbuni și roci combustibile	92	
2.3.7. Zăcămintele de sare și săruri de potasiu și magneziu	93	
3. <i>Prospecțiunea geochemică</i>	95	
3.1. Prospecțiunea litogeochemică	96	
3.2. Prospecțiunea pedogeochemică	97	
3.3. Prospecțiunea hidroggeochemică	100	
3.4. Prospecțiunea atmogeochemică	101	
3.5. Prospecțiunea biogeochemică	102	
XI. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE		
1. <i>Obiectivele și clasificarea explorării, întocmirea proiectelor lucrărilor de explorare</i>	114	
1.1. Obiectivele explorării	114	
1.2. Clasificarea lucrărilor de explorare	114	
1.3. Întocmirea proiectelor lucrărilor de explorare	117	
2. <i>Explorarea prin lucrări miniere</i>	118	
2.1. Criterii de proiectare a lucrărilor miniere de explorare	118	
2.2. Tipuri și secțiuni de lucrări miniere de explorare	119	
2.2.1. Șanțuri și tranșee de explorare	122	
2.2.2. Puțuri de mină (șurfuri)	129	
2.2.3. Puțuri de explorare	137	
2.2.4. Galerii de explorare	141	
2.2.5. Plane înclinate de explorare	159	
2.2.6. Suitori și coborâtori de explorare	161	
3. <i>Explorarea prin foraje</i>	163	
3.1. Condiții de aplicare a forajului în explorarea zăcămintelor	163	
3.2. Date generale asupra forajului	165	
3.3. Săparea găurii de sondă. Sape și carotiere	166	
3.3.1. Sape folosite în forajul cu sondeze	166	
3.3.2. Carotiere folosite în forajul cu sondeze	173	
3.3.3. Coroane sau capete de carotieră	177	
3.4. Spălarea găurii de sondă. Fluidul de foraj	190	

3.4.1. Rolul și proprietățile fluidului de foraj	190	4.1.6. Explorarea zăcămintelor de metale rare	278
3.4.2. Prepararea noroiului de foraj	196	4.1.6.1. Explorarea zăcămintelor de metale necesare industriei curente	278
3.4.3. Curățirea noroiului de foraj, stabilirea debitului și presiunii de circulație	199	4.1.6.2. Explorarea zăcămintelor de metale rare cu utilizări speciale	281
3.5. Operații de manevră și material tubular	200	4.1.6.3. Explorarea zăcămintelor de metale radioactive	283
3.5.1. Prăjini de foraj	200	4.1.6.4. Explorarea zăcămintelor de metale din grupa paltinei	283
3.5.2. Scule și dispozitive de manevră pentru prăjini și burlane	210	4.2. Explorarea zăcămintelor de cărbuni	283
3.6. Tubarea și cimentarea găurilor de sondă	220	4.2.1. Clasificarea zăcămintelor de cărbuni din punctul de vedere al explorării	284
3.6.1. Tubarea	220	4.2.2. Caracteristicile generale ale explorării zăcămintelor de cărbuni	284
3.6.2. Cimentarea	224	4.2.3. Fazele și specificul explorării zăcămintelor de cărbuni	285
3.7. Dificultăți și accidente în forajul cu sondeze	226	4.2.4. Exemple de explorare a zăcămintelor de cărbuni	286
3.7.1. Devierea găurilor de sondă	226	4.3. Explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile nemetalifere și de roci utile	289
3.7.2. Pierderi de circulație	229	4.3.1. Explorarea zăcămintelor de gips și anhidrit	290
3.7.3. Accidente de foraj	230	4.3.2. Explorarea zăcămintelor de sare gemă și de săruri de potasiu	291
3.8. Instalații de foraj — sondeze mecanice	238	4.3.3. Explorarea zăcămintelor de fosforite	293
3.8.1. Instalații pentru foraj de explorare fabricate în România	240	4.3.4. Explorarea zăcămintelor de calcită, celestină, baritină și fluorină	293
3.8.1.1. Instalația de foraj SG-650 M	240	4.3.5. Explorarea zăcămintelor de feldspat, mică și cuarț	294
3.8.1.2. Instalația de foraj SG-150	244	4.3.6. Explorarea zăcămintelor de serpentină, talc și magnezit	295
3.8.1.3. Instalația de foraj FG-8	246	4.3.7. Explorarea zăcămintelor de disten, andaluzit și sillimanit	296
4.8.1.4. Instalația de foraj FG-5	249	4.3.8. Explorarea zăcămintelor de azbest și corindon	296
3.8.1.5. Instalația de foraj FG-1,2 M	252	4.3.9. Explorarea rocilor carbonatice (calcare, dolomite, magnezite)	297
3.8.1.6. Instalația de foraj FG-0,63 D	254	4.3.10. Explorarea silicaților aluminosi	298
3.8.2. Alte tipuri de instalații de foraj	256	4.3.11. Explorarea marnelor	299
3.8.2.1. Instalația de foraj SBA-500	256	4.3.12. Explorarea rocilor silicioase	299
3.8.2.2. Instalația de foraj URB-3AM	258	4.3.13. Explorarea nisipurilor și pietrișurilor (agregatelor)	300
3.8.2.3. Instalația de foraj AVB-TM	259	4.3.14. Explorarea rocilor de construcții	301
3.8.2.4. Instalația de foraj BSK	260		
3.8.2.5. Instalația de foraj ZIF-1200	261		
3.8.2.6. Instalația de foraj GP-1 pentru subteran	262		
3.8.2.7. Instalația de foraj DIA-MEC-250	262		
3.8.2.8. Instalația de foraj hongyer 34	264		
3.0. Instalații de suprafață și anexe	264		
3.10. Indicatori tehnico-economici în activitatea de foraj	267		
3.11. Documentarea geologică a forajelor de explorare	269		
4. Explorarea zăcămintelor după natura substanței minerale utile	272		
4.1. Explorarea zăcămintelor de minereuri	272		
4.1.1. Explorarea zăcămintelor de fier și de mangan	273		
4.1.2. Explorarea zăcămintelor de plumb și zinc	274		
4.1.3. Explorarea zăcămintelor de cupru	275		
4.1.4. Explorarea zăcămintelor de aur și argint	276		
4.1.5. Explorarea zăcămintelor de pirită și de aluminiu	277		

XII. PROBAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

1. Principii de bază	304
1.1. Condițiile unei probări corecte a zăcămintelor de substanțe minerale utile	304
1.1.1. Obiectivitatea și reprezentativitatea probării	305
1.1.2. Operativitatea și productivitatea probării	306
2. Tipurile principale de probare utilizate în lucrările de explorare	306
2.1. Probarea pentru determinarea caracteristicilor mineralogice (probarea mineralogică)	307

2.2. Probarea pentru determinarea caracteristicilor chimice	310	2.2. Mineralizații de metale neferoase și auro-argentifere	373
2.3. Probarea pentru determinarea caracteristicilor tehnice	319	2.3. Mineralizații de elemente radioactive, rare și disperse	374
2.4. Probarea pentru determinarea caracteristicilor tehnologice	321	2.4. Acumulări de substanțe nemetalifere și roci utile	376
3. Metodica probării zăcămintelor de substanțe minerale utile explorate cu lucrări miniere	324	2.5. Cărbuni și roci combustibile	379
3.1. Probarea în șanțuri și tranșee de explorare	324	2.5.1. Cărbuni	379
3.2. Probarea în puțuri de mină, puțuri de explorare, suitori și coboritori	327	2.5.2. Șisturi bituminoase	386
3.3. Probarea în galerii și plane înclinate	331		
4. Metodica probării zăcămintelor de substanțe minerale utile explorate cu foraje	337		
4.1. Probarea în cazul explorării prin foraje cu carotaj mecanic	338		
4.2. Probarea în cazul folosirii în explorare a forajului mecanic percutant	343		
4.3. Probarea în cazul folosirii forajului manual, semimecanic, rotativ și rotativ-percutant în explorarea geologică	344		
5. Prelucrarea probelor geologice pentru determinarea conținutului în componente utile și dăunătoare	345		
		XIV. EVALUAREA REZERVELOR ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE	
		1. Principii generale	390
		2. Clasificarea rezervelor geologice	391
		2.1. Clasificarea rezervelor geologice după gradul de cunoaștere	391
		2.2. Clasificarea rezervelor geologice după gradul de pregătire	394
		2.3. Clasificarea rezervelor geologice după posibilitățile de valorificare	394
		2.3.1. Condiții industriale ale zăcămintelor	394
		3. Parametrii de calcul al rezervelor	396
		3.1. Parametrii pentru calculul cantitativ al rezervelor	396
		3.2. Stabilirea caracteristicilor calitative ale rezervelor	398
		3.3. Stabilirea condițiilor de zăcămint	403
		4. Metode de calcul al rezervelor	405
		4.1. Metoda blocurilor geologice	406
		4.2. Metoda panourilor sau blocurilor de exploatare	409
		4.3. Metoda secțiunilor	415
		4.4. Metoda poligoanelor	421
		4.5. Metoda triunghiurilor	422
		5. Metode statistice-matematice și geostatistice în estimarea parametrilor de calcul al rezervelor	424
		5.1. Metode statistice-matematice	424
		5.1.1. Stabilirea valorii medii a parametrilor de calcul ținând seama de legea de distribuție statistică a acestora	424
		5.1.2. Utilizarea analizei de corelație în estimarea conținutului rezervelor	426
		5.2. Metoda geostatistică	427
		5.2.1. Funcțiile semivariogramă și covariogramă	428
		5.2.2. Variabile regionalizate staționare. Principalele caracteristici ale mineralizației puse în evidență de semivariogramă	428
		5.2.3. Calculul semivariogramei experimentale	430
		5.2.4. Modelarea semivariogramei experimentale	432
		5.2.4.1. Mineralizații izotrope	433
		5.2.4.2. Mineralizații anizotrope	436
		5.2.5. Metoda Krige. Determinarea estimatorului optim și a varianței erorii de estimare	438
		XIII. CAROTAJUL GEOFIZIC	
		1. Principiile de bază ale metodelor de carotaj geofizic aplicate în geologia minieră	351
		1.1. Carotajul de rezistivitate aparentă	351
		1.1.1. Carotajul obișnuit (standard)	352
		1.1.2. Carotajul cu curenți focalizați	353
		1.1.3. Carotajul inductiv	353
		1.1.4. Metoda carotajului de curent	354
		1.1.5. Carotajul electric cu microdispozitive sau microcarotajul	355
		1.1.6. Electrometrie de sondă în curent continuu	355
		1.2. Carotajul potențialelor naturale sau spontane	357
		1.3. Carotajul potențialelor provocate	358
		1.4. Carotajul radioactiv	358
		1.4.1. Carotajul radiației gama naturale	358
		1.4.2. Carotajul radiației gama dispersate	359
		1.4.3. Carotajul neutron-gama	360
		1.4.4. Carotajul neutron-neutronic	361
		1.4.5. Carotajul fotoneutronic	362
		1.4.6. Carotajul activării neutronice	362
		1.4.7. Carotajul fluorescenței X	363
		1.4.8. Spectrometria radiațiilor gama în carotaj	364
		1.5. Carotajul acustic	364
		1.6. Carotajul magnetic	365
		1.7. Cavernometria	366
		2. Aplicarea carotajului geofizic pentru identificarea și evaluarea zăcămintelor de substanțe minerale utile solide	367
		2.1. Mineralizații de metale feroase	367

5.2.6. Intervalul de încredere al cantității și calității rezervelor. Gradul de precizie al valorilor estimate	439
XV. TOPOGRAFIE MINIERĂ ȘI FOTOGRAMMETRIE	
1. Teoria erorilor de măsurare	445
1.1. Clasificarea măsurătorilor	445
1.2. Măsurători directe de aceeași precizie	446
1.3. Măsurători directe de precizii diferite	447
1.4. Măsurători indirecte de aceeași precizie	448
1.5. Măsurători indirecte de precizii diferite	452
1.6. Măsurători condiționate de aceeași precizie	452
1.7. Măsurători condiționate de precizii diferite	453
2. Măsurarea mărimilor topografice	454
1.2. Măsurarea unghiurilor	454
2.1.1. Instrumente de măsurarea unghiurilor	454
2.1.2. Metode de măsurare a unghiurilor orizontale	455
2.1.3. Măsurarea unghiurilor verticale	456
2.2. Măsurarea directă a distanțelor	456
2.2.1. Instrumente pentru măsurarea directă a distanțelor	456
2.2.2. Măsurarea directă a lungimilor cu panglica	457
2.2.3. Corecții aplicate lungimilor măsurate cu benzi de oțel	458
2.3. Măsurarea indirectă a distanțelor	459
2.3.1. Metoda optică	459
2.3.2. Măsurarea electrooptică și electromagnetice a distanțelor	460
2.4. Instrumente de măsurare directă a înălțimilor	461
2.4.1. Instrumente de nivelment geometric cu lunetă	461
2.4.2. Instrumente de nivelment cu compensator	462
3. Lucrări topografice la suprafață	462
3.1. Elemente de geodezie și cartografie	462
3.1.1. Forma și dimensiunile Pământului	462
3.1.2. Suprafețe de referință	463
3.1.3. Coordonate plane Gauss-Krüger	464
3.1.4. Coordonate plane stereografice	466
3.2. Triangulația	467
3.2.1. Rețeaua triangulației de stat	467
3.2.2. Realizarea rețelei triangulației de stat	467
3.2.3. Importanța și caracterul rețelei de triangulație	468
3.2.4. Verificarea rețelelor de triangulație	469
3.2.5. Dezvoltarea rețelelor de triangulație	472
3.3. Trilaterația	476
3.3.1. Compensarea laturilor în rețelele de trilaterație	476
3.3.2. Calculul coordonatelor în rețelele de trilaterație	478
3.3.3. Dezvoltarea rețelelor de trilaterație	479
3.4. Poligonometria	480
3.4.1. Realizarea traseelor și rețelelor poligonometrice	480
3.4.2. Condiții de aplicare. Avantaje și dezavantaje	481
3.4.3. Rezolvarea traseelor și rețelelor poligonometrice	481
3.5. Nivelment	483
3.5.1. Suprafață de nivel zero. Suprafețe de nivel. Alitudinii	483
3.5.2. Corecții de nivelment	484
3.5.3. Felurile nivelmentului	484
4. Lucrări de topografie minieră	485
4.1. Planimetrie subterană	485
4.1.1. Transmiteri de coordonate și orientări în subteran	485
4.1.1.1. Legătura pe galeria de coastă	486
4.1.1.2. Legătura pe două puțuri verticale de mină	487
4.1.1.3. Legătura pe un singur puț vertical de mină	488
4.1.2. Proiectarea coordonatelor și orientării pe lucrări miniere verticale	492
4.1.2.1. Metoda mecanică de proiectare a coordonatelor	493
4.1.2.2. Metoda giroscopică de determinare a orientării	495
4.1.3. Drumuri planimetrice subterane	497
4.1.3.1. Poligonația cu două capete	497
4.1.3.2. Poligonația cu cap de sprijin și un punct de închidere	500
4.1.3.3. Poligonația minieră	500
4.1.3.4. Poligonația flotantă	503
4.1.3.5. Rețea planimetrică nodală	506
4.1.3.6. Rețea planimetrică acolată	508
4.2. Nivelment subteran	512
4.2.1. Transmiterea cotelor în subteran	512
4.2.2. Metode de nivelment subteran	515
4.2.3. Trasee nivelitice subterane	517
4.3. Ridicarea de detalii subterane	523
4.3.1. Ridicarea de detalii în lucrări miniere orizontale	523
4.3.2. Ridicarea de detalii în lucrări miniere verticale	524
4.3.3. Recepția și evidența lucrărilor miniere în săpare	527
4.3.4. Recepția și evidența producției realizate în abataje	528
4.3.5. Evaluarea producției realizate în cariere	530
4.4. Străpungeri miniere	532
4.4.1. Străpungerea între două puncte topografice	532
4.4.2. Racordarea aliniamentelor	535
4.4.3. Probleme de topografie minieră	538
4.4.3.1. Cea mai scurtă galerie de la un punct la o altă galerie	539
4.4.3.2. Intersecția dintre o galerie și un zăcămint	540
4.4.3.3. Intersecția dintre o falie și un zăcămint	542
4.4.3.4. Lucrare minieră de legătură dintre două galerii cunoscute	544

4.5. Studiul comportării suprafeței sub influența spațiului subteran exploatat	545	1.1.2. Analiza stării de tensiune sau de deformare pe cale grafică	600
4.5.1. Constituirea stațiilor topografice de urmărire	545	1.2. Elemente de teoria tensiunilor și a deformărilor în medii elastice	600
4.5.2. Efectuarea măsurătorilor	547	1.3. Plasticitatea. Elemente de teoria tensiunilor și a deformărilor în medii plastice. Condiții de plasticitate	601
4.5.3. Interpretarea rezultatelor măsurătorilor	548	1.4. Mecanismul de rezistență și fracturare a rocilor și substanțelor minerale utile. Ipoteze de rupere	603
5. Fotogrammetrie terestră	550	2. Metode experimentale pentru caracterizarea rocilor și substanțelor minerale utile	611
5.1. Definiția și scopul fotogrammetriei terestre	550	2.1. Recoltarea și prelevarea probelor de roci	611
5.2. Baza geometrică a fotogramelor	551	2.2. Caracteristici fizice	612
5.2.1. Fotograma ca proiecție centrală	551	2.3. Caracteristici mecanice	626
5.2.2. Elementele proiecției centrale	552	2.4. Caracteristici elastice	632
5.2.3. Sisteme de coordonate utilizate în fotogrammetrie	553	2.5. Caracteristici reologice	640
5.2.4. Elementele de orientare a fotogramelor	554	3. Stabilitatea excavațiilor subterane	644
5.2.5. Relațiile analitice ale fotogrammetriei terestre	555	3.1. Starea de tensiune a masivului de roci nederanjate prin excavații	644
5.3. Vederea stereoscopică	557	3.1.1. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament elastic	644
5.3.1. Vederea bioculară naturală	557	3.1.2. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament elastic	646
5.3.2. Vederea stereoscopică artificială	558	3.1.3. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament plastic	647
5.4. Aparatura de fotografiere	561	3.1.4. Starea de tensiune într-un masiv cu comportament neelasic	649
5.5. Metodele fotogrammetriei terestre	568	3.1.5. Starea de tensiune de origine tectonică	649
5.5.1. Fotogrammetria cu o imagine	568	3.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul excavațiilor subterane	650
5.5.2. Fotogrammetria cu două imagini	571	3.2.1. Studii și cercetări teoretice clasice referitoare la repartizarea tensiunilor	651
5.5.3. Fotogrammetria paralactică cu baza timp	576	3.2.1.1. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii elastice omogene și izotrope	651
5.6. Aparate de restituție folosite în fotogrammetria terestră	577	3.2.1.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii plastice sau elastice	656
5.6.1. Aparate de restituție analogică	577	3.2.2. Studii și cercetări numerice referitoare la repartizarea tensiunilor (Metoda elementelor finite)	660
5.6.2. Aparate de restituție numerică	579	3.2.3. Studii și cercetări efectuate prin metoda optică	664
5.6.3. Aparate de restituție analitică	579	3.2.4. Studiul tensiunilor și a repartizării acestora prin măsurători directe	665
5.6.4. Aparate cu proiecție fotografică	580	3.3. Presiunea rocilor înconjurătoare asupra excavațiilor miniere subterane	668
5.7. Erori în determinarea coordonatelor punctelor spațiale	580	3.3.1. Presiunea rocilor asupra lucrărilor miniere orizontale	670
5.7.1. Determinarea erorilor	580	3.3.1.1. Presiunea din tavan	670
5.7.2. Corectarea erorilor	581	3.3.1.2. Presiunea laterală	686
5.7.3. Transcalcularea coordonatelor spațiale XY în sistemul geodezic Y, X	581	3.3.1.3. Presiunea din vatră	686
5.8. Lucrări de teren în fotogrammetria terestră	583	3.3.2. Presiunea rocilor asupra lucrărilor miniere verticale	688
5.8.1. Stabilirea punctelor de stație și a bazelor fotogrammetrice	584	3.3.2.1. Ipoteza forțelor	688
5.8.2. Reperajul fotogrammetric	585	3.3.2.2. Ipoteza deformațiilor	692
5.8.3. Legarea punctelor de capăt ale bazelor fotogrammetrice și a punctelor de control la rețeaua geodezică	586	3.3.2.3. Presiunea neuniformă asupra lucrărilor miniere verticale	695
5.9. Rezolvarea unor probleme topografice prin metode fotogrammetrice	587		
5.9.1. Măsurarea volumelor excavate în cariere	587		
5.9.2. Măsurarea depozitelor de steril	591		
5.9.3. Măsurarea albiilor de scufundare	592		
5.9.4. Măsurători în subteran	592		
XVI. MECANICA ROCILOR			
1. Bazele teoretice ale mecanicii rocilor	596		
1.1. Definiții și concepte de bază	596		
1.1.1. Analiza stării de tensiune sau de deformare pe cale analitică	597		

3.3.3. Presiunea rocilor asupra abatajelor	698	5.2.1. Deschiderea camerelor la tavan	736
3.4. Studiul manifestării presiunii miniere prin măsurători directe	703	5.2.2. Calculul lungimii unei camere	738
3.5. Studiul manifestării presiunii prin metoda modelării cu materiale echivalente	705	5.2.3. Calculul înălțimii unei camere	739
4. Stabilitatea taluzelor	709	5.2.4. Calculul dimensiunilor planșeului dintre camere	739
4.1. Considerații privind condițiile și factorii care determină stabilitatea taluzelor	709	6. Fenomenele de manifestare dinamică a presiunii miniere	741
4.2. Forma suprafețelor de rupere și procedee de calcul ale acestora	718	6.1. Exploziile de rocă și substanță minerală utilă sau șocurile miniere	741
4.3. Calculul stabilității taluzelor	718	6.1.1. Exploziile de rocă produse în lucrări miniere singulare	747
4.3.1. Stabilitatea taluzelor executate în masive de rocă elastică	719	6.1.2. Exploziile de rocă produse în lucrări miniere multiple și în abataje	747
4.3.2. Stabilitatea taluzelor executate în masive de rocă slab coezivă și cu coeziune mică	720	6.2. Erupțiile de cărbune și gaz sau rocă-apă și gaz (viituri)	749
4.3.3. Stabilitatea taluzelor afectate de prezența pinzelor acrifere în masivul de rocă în care sînt executate	722	7. Influența exploatărilor subterane asupra terenului de la suprafață	751
4.3.4. Metode aproximative	723	7.1. Deformarea suprafeței terenului sub influența exploatării subterane	751
4.4. Măsuri de prevenire și control în cazul executării taluzelor	726	7.1.1. Caracterul deplasării și deformării masivului de roci și a suprafeței terenurilor	751
5. Proiectarea și dimensionarea pilierilor de siguranță și planșelor	727	7.1.2. Factorii care influențează procesul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor	753
5.1. Proiectarea și dimensionarea pilierilor de siguranță	727	7.1.3. Parametrii și elementele de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor	754
5.1.1. Considerații generale asupra calculului dimensiunilor pilierilor de siguranță	727	7.1.4. Stadiile de dezvoltare a albiilor de scufundare	757
5.1.2. Procedee de calcul și verificarea dimensiunilor pilierilor de siguranță	729	7.2. Metode de studiu a deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor	758
5.1.3. Calculul dimensiunilor pilierilor de susținere la exploatarea sării prin dizolvare cinetică	734	7.2.1. Dependența matematică între curbele de deplasare și deformare	759
5.2. Proiectarea și dimensionarea camerelor de exploatare și grosimii planșelor dintre etaje	736	7.2.2. Evoluția metodelor de calcul a deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor	760
		7.3. Metode matematico-analitice de calcul a parametrilor scufundării	761
		7.3.1. Strate orizontale și cu înclinare mică	762

X. PROSPECTIUNEA

Prof. dr. doc. ing. RADU BOTEZATU
Membru corespondent al Academiei R. S. România

Prof. dr. doc. GRAȚIAN CIOFLICA

Lector IOSIF DRĂGHICI

Lector dr. IOAN MĂLDĂRESCU

Lector dr. OVIDIU DRAGASTAN

Prospecțiunea cuprinde ansamblul operațiilor și lucrărilor de cercetare geologică geofizică, geochimică, geobotanică, sau cu lucrări miniere și foraje, executate în scopul evidențierii unor concentrații de substanțe minerale utile în anumite structuri geologice.

Prospectarea sistematică a unei regiuni se face trecându-se succesiv de la cercetări cu caracter general, ce privesc suprafețe mari, la cercetări de detaliu, localizate în zone favorabile acumulărilor de substanțe minerale utile. În funcție de gradul de aprofundare a cercetării unei regiuni, se pot distinge:

a) *prospecțiuni preliminare* (strategice), care se efectuează la scară mică, în vederea descifrării în linii generale a structurii geologice a regiunii și delimitării, în cadrul acesteia, a zonelor cu diferite grade de perspectivă pentru identificarea anumitor concentrații de substanțe minerale utile;

b) *prospecțiuni de detaliu* (tactice), care se execută la scară mare și au ca obiectiv descifrarea amănunțită a structurii geologice și cunoașterea, cu precizia necesară începerii explorării, a condițiilor geologice în care se găsesc concentrațiile de substanțe minerale utile identificate. Dacă activitatea de prospecțiune urmărește o astfel de succesiune, înseamnă că s-au asigurat condițiile unor cercetări sistematice, care sporesc eficiența lucrărilor geologice, deoarece necesitatea trecerii la faza superioară, prospecțiunea de detaliu, este justificată de rezultatele fazei precedente, a prospecțiunii preliminare. Uneori, însă, în activitatea de prospecțiune apar situații în care aceste două faze de cercetare nu mai pot fi urmărite, ca succesiune, cu multă rigurozitate; este cazul, de exemplu, al identificării unor concentrații de substanțe minerale utile, în faza lucrărilor de prospecțiune strategică, care impune trecerea direct la explorare, eliminând astfel faza lucrărilor de prospecțiune de detaliu.

Se disting, în funcție de metodele de investigație utilizate, următoarele tipuri de prospecțiuni: *geologice, geofizice, geochimice, geobotanice, cu lucrări miniere și foraje.*

Lucrările de prospecțiune au la bază harta geologică a regiunii și ansamblul de date geologice, uneori și miniere, obținute prin cercetările anterioare, care oferă posibilitatea conturării perimetrului de prospectat și reprezintă, în același timp, o sursă pentru premisele geologice și indicatorii de prospecțiune. Metodele de prospecțiune sînt selectate în funcție de particularitățile structurii geologice, de condițiile geomorfologice și de natura substanței minerale utile ce urmează a fi prospectată. Eficiența lucrărilor de prospecțiune este mai ridicată în urma combinării variatelor metode de prospecțiune, și anume a celor considerate a fi mai adecvate condițiilor geologice în care se află concentrațiile de substanțe minerale utile. Combinarea într-o regiune a metodelor de prospecțiune se poate realiza astfel:

a) prin aplicarea succesivă a diferitelor metode de prospecțiune, ceea ce presupune ca fiecare metodă utilizată să aibă la bază rezultatele metodelor precedente; este un mod de execuție rațional, nefiind legat de riscuri prea mari în obținerea rezultatelor, dar rezolvarea obiectivelor se face într-un timp mai îndelungat;

b) prin suprapunerea în timp, cel puțin pe un anumit interval, a diferitelor metode de prospecțiune; o astfel de complexare a lucrărilor de prospecțiune reduce durata execuției, dar oferă și riscul cercetărilor, uneori destul de costisitoare și cu rezultate negative.

Indiferent de metodele de prospecțiune folosite și de gradul de aprofundare al investigațiilor, activitatea de prospecțiune presupune trei etape:

a) *pregătirea pentru teren*, cînd se întocmește documentația geologică și se elaborează proiectul tehnico-geologic;

b) *lucrul pe teren*, cînd se adună ansamblul de informații necesare descifrării structurii geologice a regiunii prospectate și conturării perspectivelor sale din punct de vedere economic;

c) *prelucrarea informațiilor*, cînd se precizează, pe baza investigațiilor de laborator și a datelor de teren, elementele care justifică trecerea la o fază superioară de cercetare sau întreruperea activității de prospecțiune în regiune.

1. PROSPECȚIUNEA GEOLOGICĂ

Prospecțiunea geologică cuprinde un ansamblu de investigații, care au ca element comun cartarea geologică efectuată în scopul descifrării structurii geologice a unei regiuni și a condițiilor geologice favorabile unor concentrații de substanțe minerale utile.

Investigațiile se execută în deschideri naturale și artificiale, pe fragmente de minereu și pe concentrate de minerale grele din aureole de dispersie mecanică, generate de corpurile de substanțe minerale utile. Rezultatele obținute se exprimă pe hărți topografice, conducînd în final la elaborarea hărților geologice, care oferă elementele de bază pentru interpretarea structurii geologice și stabilirea potențialului său economic.

Prospecțiunea geologică are o eficiență sporită în regiunile cu numeroase deschideri naturale, unde corpurile de substanțe minerale utile au generat, sub acțiunea proceselor de alterare supergenă, aureole de dispersie mecanică. În regiunile în care corpurile de substanțe minerale utile sînt localizate în structuri geologice ascunse, situate la diferite adîncimi în litosferă, prospecțiunea geologică se combină cu prospecțiunea geofizică, uneori cu prospecțiunea geochimică; lucrările miniere și forajele intervin, desigur, cu pondere diferită, în toate condițiile geologice.

1.1. PREMISE GEOLOGICE FUNDAMENTALE

Premisele geologice fundamentale cuprind ansamblul de elemente (structurale, magmatice, lito-stratigrafice, paleogeografice, metamorfice, geochimice) care controlează localizarea și conservarea concentrațiilor de substanțe minerale utile în structurile geologice. Prin natura lor, premisele geologice oferă baza teoretică pentru delimitarea arealelor cu diferite grade de perspectivă și pentru orientarea lucrărilor de prospecțiune

1.1.1. PREMISE STRUCTURALE

Premisele structurale au o importanță deosebită în conturarea zonelor în care structurile geologice sînt posibil purtătoare de mineralizații, îndeosebi de natură hidrotermală, sedimentară și metamorfică. Rolul acestora este determinant la scară locală și regională, deoarece elementele structurale controlează distribuția în spațiu și aspectele morfologice ale corpurilor de minereu.

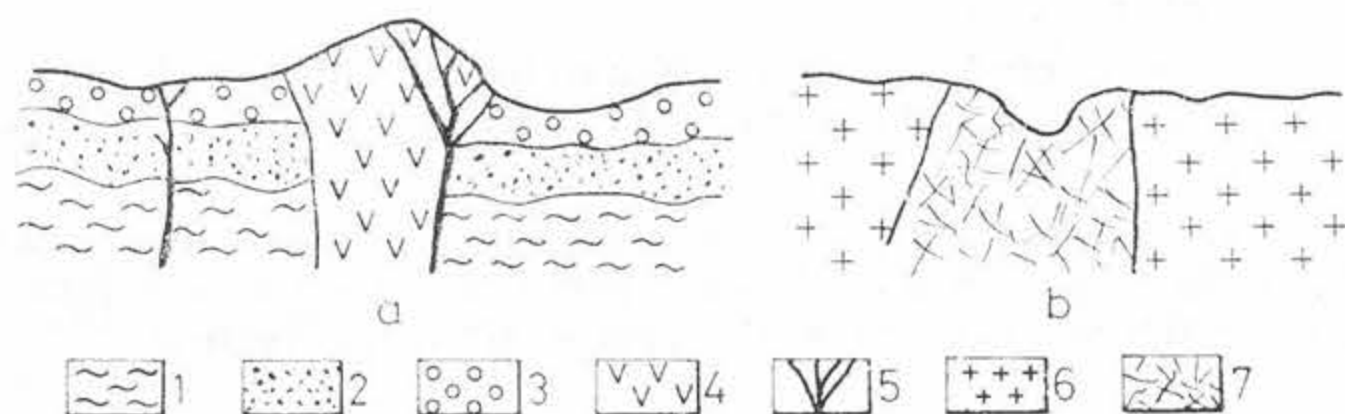


Fig. X.1. Depunerea de mineralizații pe fracturi și pe o rețea densă de fisuri:

a — filoane; b — volbură; 1 — depozite cretacice; 2 — depozite miocene; 3 — aglomerate andezitice miocene; 4 — stilp de andezite; 5 — filoane; 6 — granite; 7 — volbură.

Favorabile pentru localizarea concentrațiilor hidrotermale sînt *variatele tipuri și sisteme de fracturi și variatele tipuri de breccii* (tectonice, de explozie, de prăbușire); rezultă filoane, cu diferite aspecte morfologice, dacă depunerile s-au realizat la nivelul fracturilor, sau stock-uri și volburi, dacă mediul de depunere a fost o masă de breccii ori o rețea densă de fisuri (fig. X.1). Mai puțin frecvente, dar cu o deosebită importanță pentru procesul de metalizare hidrotermală, sînt *fracturile din șarnierele și de pe flancurile anticlinalelor*, precum și *cavitățile de exfoliere a stratelor din zonele anticlinale și sinclinale* (fig. X.2).

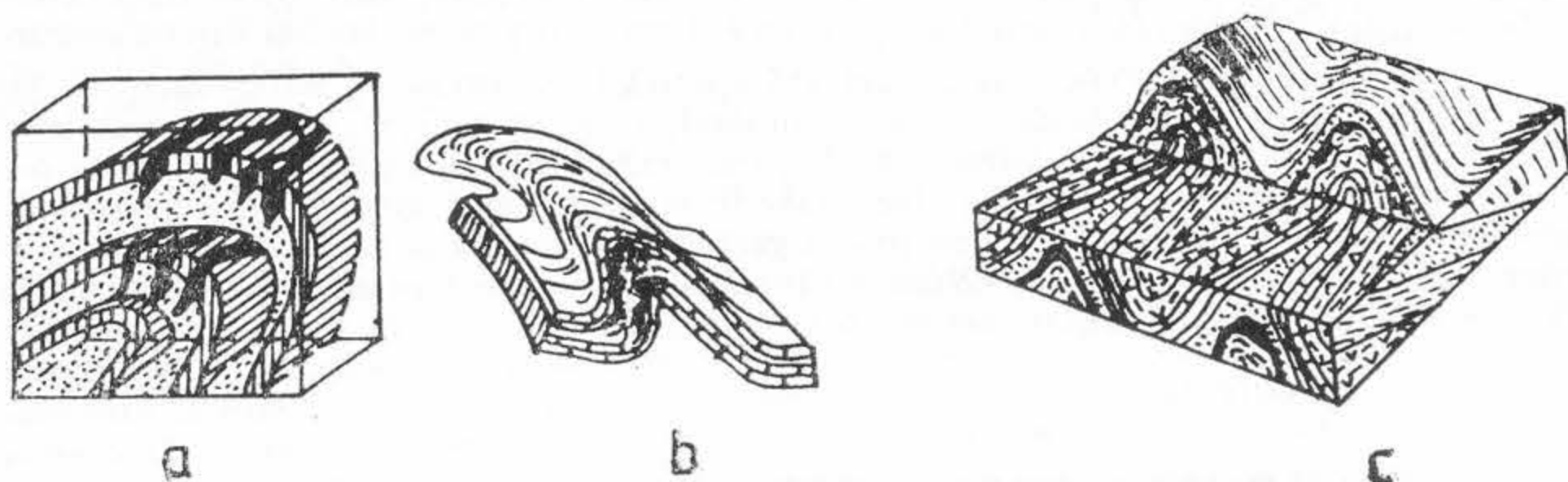


Fig. X.2. Localizarea mineralizațiilor în raport cu elementele structurale:

a — în fisurile din șarniera unui anticlinal; b — în fisurile de pe flancurile unei cute; c — în spațiile rezultate din exfolierea stratelor.

Fracturile majore, unele falii cu extinderi importante, ca și planele de încălecare constituie, în anumite situații, calea de migrare a soluțiilor mineralizante. Efectele acestui fenomen sînt trădate de impregnațiile de minerale metalice și de transformările metasomatice ale rocilor cu astfel de elemente structurale; corpurile de mine-

reuri vor fi localizate pe fracturile adiacente elementelor structurale majore. În acest fel, pentru fundamentarea teoretică a lucrărilor de prospecțiune geologică este esențială stabilirea rolului îndeplinit de diferitele elemente structurale: a) cale de acces pentru soluțiile mineralizante; b) rol de intermediar între fracturile majore și cele în care se depun mineralizațiile; c) sediul localizării mineralizațiilor (fig. X.3).

În cazul concentrațiilor de afiliație sedimentară și metamorfică importante sînt deformările plicative și rupturale care afectează corpurile de minereu. Uneori, corpurile

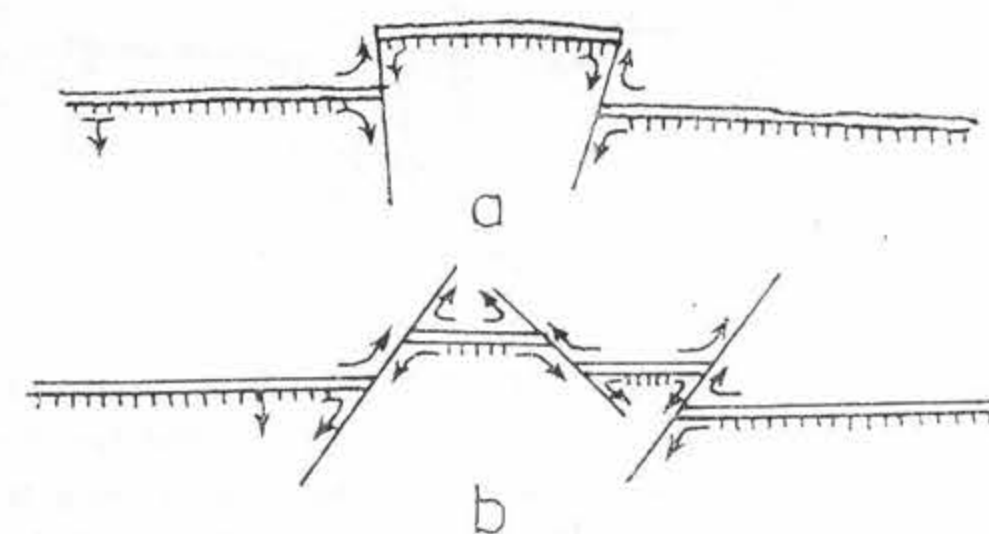


Fig. X.3. Circulația soluțiilor hidrotermale pe falii:

a — falii transversale; b — falii diagonale.

de minereu prinse în cîmpul de acțiune al mișcărilor tectonice își pot păstra, pe distanțe mari, aspectele morfologice primare; altele sînt intens cutate și budinate, adesea efilîndu-se pe flancurile cutelor, iar în zona axială a anticlinalelor și sinclinalelor realizîndu-se o îngroșare a masei de minereu. Intervenția deformărilor rupturale, alături de cele plicative, face ca forma primară a zăcămintelor să fie cu greu recunoscută. În aceste situații, reconstituirea formei inițiale implică un studiu statistic al tuturor elementelor structurale, stabilindu-se relațiile de timp dintre ele, ca și etapele procesului de deformare.

Adesea deformările plicative și rupturale din timpul metamorfismului regional sînt însoțite și de fenomene de remobilizare locală și de redepunere a substanțelor minerale utile, la nivelul planelor de șistozitate și a fracturilor. Astfel de concentrații locale, realizate în metamorfismul regional, oferă false succesiuni de depunere și false aspecte concordante în planurile de șistozitate. Reconstituirea formei inițiale este, în acest caz, și mai dificilă, ea necesitînd studii aprofundate petrografice, stratigrafice, microstructurale și chiar paleogeografice, pe ansamblul unității structurale în care se află zăcămintele, în scopul orientării lucrărilor de cercetare geologică.

Corpurile de minereu sînt grupate în unități metalogenetice de diferite mărimi, în cadrul unităților tecto-structurale majore, plăcile litosferice; ele urmăresc, din aproape în aproape, unitățile petrogenetice cu care se asociază. Examinarea relațiilor dintre aceste unități conduce la concluzii cu importanță în prospecțiunea preliminară, privind cadrul tectonic, asociațiile petrometalogenetice și poziția lor în unitățile tecto-structurale majore.

Astfel s-a remarcat faptul că la marginea plăcilor litosferice cu contacte de divergență, contacte de convergență sau contacte definite ca falii transformante, corpurile de minereu au frecvența cea mai mare, în timp ce în interiorul plăcilor frecvența lor este mai redusă.

Așa, de exemplu, o mare parte dintre concentrațiile lichidmagmatice (Cr, Ni-Cu, Fe-Ti-V), hidrotermale (filoane și volburi cu mineralizații de Cu, pirită etc.) și vulcanogene sulfuri masive stratiforme tip Cipru, oxizi de fier și mangan) se află în regiunile de expansiune din domeniul oceanic și al bazinelor marginale, asociindu-se magmatitelor

tholeiitice și sedimentelor de la partea superioară a acestora (fig. X.4). Uneori, astfel de concentrații, asociate ultrabazitelor (peridotite, serpentinite) și bazitelor (gabrouri, curgeri de lave bazaltice, frecvent în facies de pillow-lava), se găsesc pe marginea plăcilor cu contacte de convergență, în poziție alohtonă; sînt fragmente de crustă oceanică (ofiolite alohtone). Mineralizațiile cuprifere asociate complexelor de roci bazice de la Baia de Aramă aparțin acestui tip.

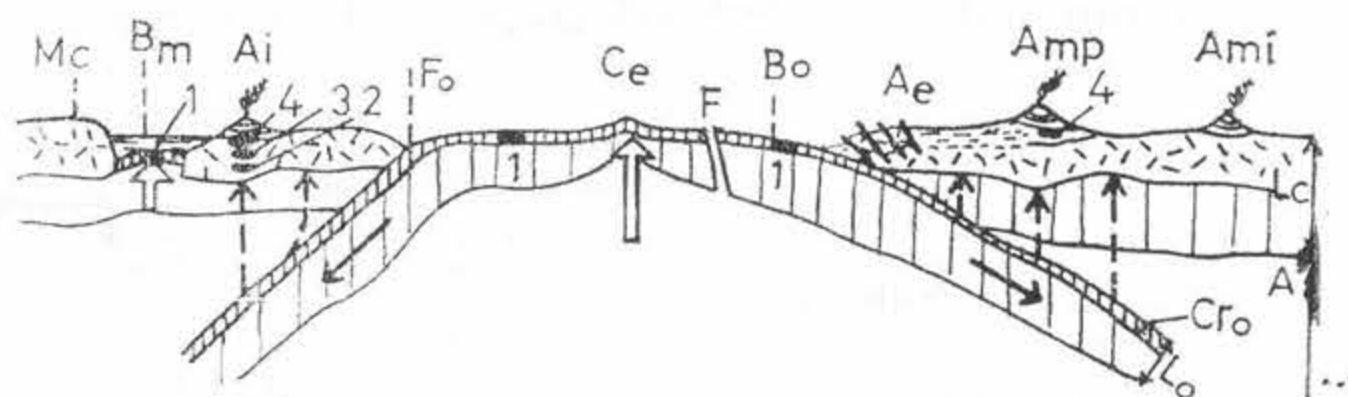


Fig. X.4. Localizarea corpurilor de minereuri la marginea plăcilor litosferice :

Ce — creastă de expansiune principală; F — falie transformantă; Fo — fosă; Bo — bazin oceanic; Lc — litosferă oceanică cu crustă oceanică (Cro) și sedimentele de la partea sa superioară; Lc — litosferă continentală; A — astenosferă; Ae — arc extern; Amp — arc magmatic principal tip *andin*; Ami — arc magmatic intern; Ai — arc insular; Bm — bazin marginal; Mc — margine continentală inactivă; 1 — concentrații vulcanogene de Cu și pirită tip *Cipru* și de oxizi de fier și mangan; 2 — concentrații vulcanogene de Cu-Zn, tip *Gjervinsk*; 3 — concentrații vulcanogene de Zn-Pb-Cu stratiforme tip *Kuroko*; 4 — concentrații de Cu(Mo, Au) tipul *porphyry*.

O altă parte dintre concentrațiile metalifere, îndeosebi pegmatitice, pirometasomatice și hidrotermale, ca și unele vulcanogene cu aspect stratiform, se află în regiunile de comprimare a litosferei, în relații genetice îndeosebi cu magmatite calco-alcaline: granite, granodiorite, diorite, monzodiorite, andezite, dacite, riolite; acestea provin prin consolidarea magmelor generate în cadrul zonelor de subducție tip *andin*. În arcurile magmatice principale tip *andin* se găsesc cele mai variate și mai numeroase concentrații pegmatitice, pirometasomatice și hidrotermale; pentru acestea din urmă sînt caracteristice mineralizațiile de Cu (Mo, Au) din sistemul *porphyry*, de Au-Ag și polimetalice cu aspecte filoniene și de volburi, ca și de Au tip *Carlin* de temperatură scăzută în roci carbonatice. Magmatitele din arcul magmatic intern conțin concentrații pirometasomatice și hidrotermale (Sn, tip *porphyry*, W, polimetalice). În arcul extern pot apare uneori granite tip *S* purtătoare de mineralizații hidrotermale de staniu. Cu o frecvență deosebită sînt mineralizațiile asociate magmatitelor din arcurile insulare, ca de exemplu: concentrații lichidmagmatice, hidrotermale și vulcanogene de sulfuri (Cu-Zn) tip *Gjervinsk*, formate în relații genetice cu magmatite bazice ale seriei tholeiitice, în stadiul de arcimatur; concentrații vulcanogene de sulfuri masive (Zn-Pb-Cu) stratiforme tip *Kuroko*, asociate diferențiatelor acide din seria calco-alcalină, în stadiu de arc matur; concentrații de cupru din sistemul *porphyry* aflate în relații genetice cu magmatite dominant dioritice, calco-alcaline. Concentrațiile pirometasomatice și hidrotermale (Cu din sistemul *porphyry* și din skarne; Pb-Zn, Fe, B, Mo-Bi, Cu-Mo-Bi, W din skarne; filoane de cuarț-molibden) aflate în asociația granit-granodiorit sau granodiorit-diorit, monzodiorit, Senonian-paleocene, împreună cu mineralizațiile hidrotermale (Au-Ag; Cu-pirită; polimetalice; Cu din sistemul *porphyry*) din asociațiile andezitice

neogene (roci andezitice cu diferențiatele lor) de pe teritoriul țării noastre aparțin metalogenei zonelor de subducție, formate în arcuri magmatice.

Unele concentrații metalifere, cum sînt de exemplu cele de Sn-W și de U, apar în asociație cu intruziuni de granite tip *S* în perioada proceselor de coliziune, cînd are loc închiderea spațiului oceanic (fig. X.5).

Mineralizațiile din lungul faliilor transformante sînt mai puțin studiate. Sînt menționate anumite concentrații lichid-magmatice de Cu-Ni din ultrabazite sau de Ti

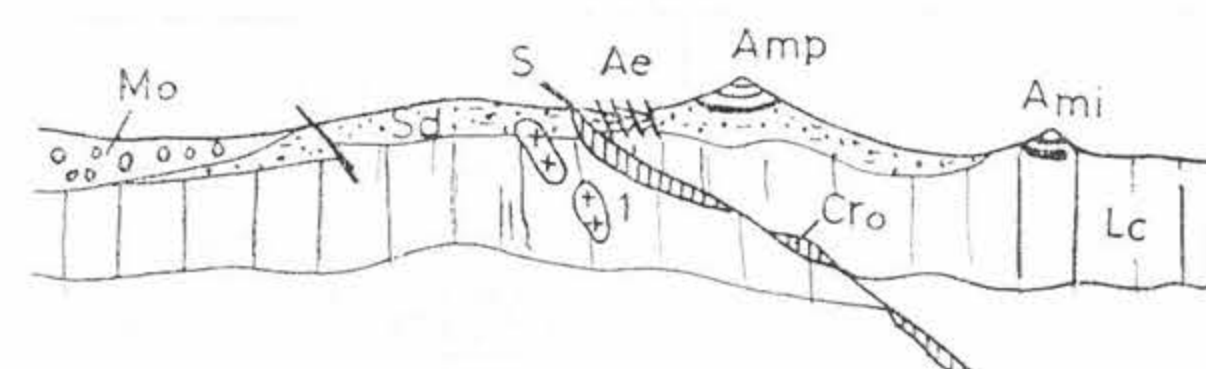


Fig. X.5. Asocierea unor mineralizații cu magmatite granitice formate în timpul coliziunii :

Ae — arc extern; Amp — arc magmatic principal; Ami — arc magmatic intern; Cro — fragmente de crustă oceanică; Sd — sedimente; Mo — molasă; S — linie de sutură; Lc — litosferă continentală; 1 — granite de tip *S*, formate în timpul coliziunii, cu care se asociază mineralizații de Sn, W, U sau Ag-Co-Ni (după R.D. Beckinsale și A.H.G. Mitchell, 1981, cu modificări).

(ilmenit) din gabrouri, aflate pe astfel de falii. Investigațiile recente au arătat că faliile transformante din spațiile oceanice se pot corela pe direcție cu unele fracturi continentale; la intersecția acestor falii cu creasta oceanică, precum și a fracturilor continentale de pe direcțiile faliilor transformante, cu alte sisteme de fracturi tectonice majore de pe continent, se dispun importante corpuri de minereuri.

În interiorul plăcilor, în relații genetice cu magmatismul anorogenic din zonele fierbinți apar concentrații lichidmagmatice și hidrotermale, uneori de mare valoare economică. Este cazul concentrațiilor de Fe-Ti, Ni-Cu, Pt, Cr din unele intruziuni gabro-periodotice, stratiforme, a carbonatitelor din complexe alcaline, ca și a unor mineralizații de staniu asociate granitelor anorogene. În rifturile intracontinentale sînt frecvente mineralizațiile stratiforme de Pb-Zn-Ba tip *Mississippi Valley* și concentrații de Cu în roci detritice grosiere; în asociații cu vulcanite se găsesc corpuri de sulfuri masive. Pe fracturile ce delimitează rifturile apar carbonatite cu Nb, TR, U, Th, Zr, Cu, P etc. Au fost identificate, în astfel de cadru tectonic, și mineralizații de Cu sau Cu-Mo tip *porphyry* ca și kimberlite cu diamante.

1.1.2. PREMISE MAGMATICE

Premisele magmatice privesc un ansamblu de elemente legate de evoluția în timp și în spațiu a magmelor și a soluțiilor postmagmatice afiliate, pe baza cărora pot fi conturate zonele favorabile localizării concentrațiilor de substanțe minerale utile. Astfel de elemente sînt: relațiile dintre substanțele minerale utile și tipurile de magmatite, relațiile dintre concentrațiile metalifere și granulația magmatitelor, forma de zăcămint, dimensiunea și structura internă a corpurilor eruptive, ca și zonalitatea mineralizațiilor.

Relațiile dintre substanțele minerale utile și tipurile de magmatite pot fi: *genetice* și *paragenetice*.

În cazul relațiilor genetice, magmatitele și concentrațiile de substanțe minerale utile asociate prezintă cel mai apropiat grad de înrudire, ele având ca element comun sursa și procesele de formare. Prin modul lor de prezentare, magmatitele purtătoare de concentrații de minerale utile constituie chiar ele corpuri de minereuri. În asociație genetică evidentă și cu valoare deosebită pentru lucrările de prospecțiune, se află

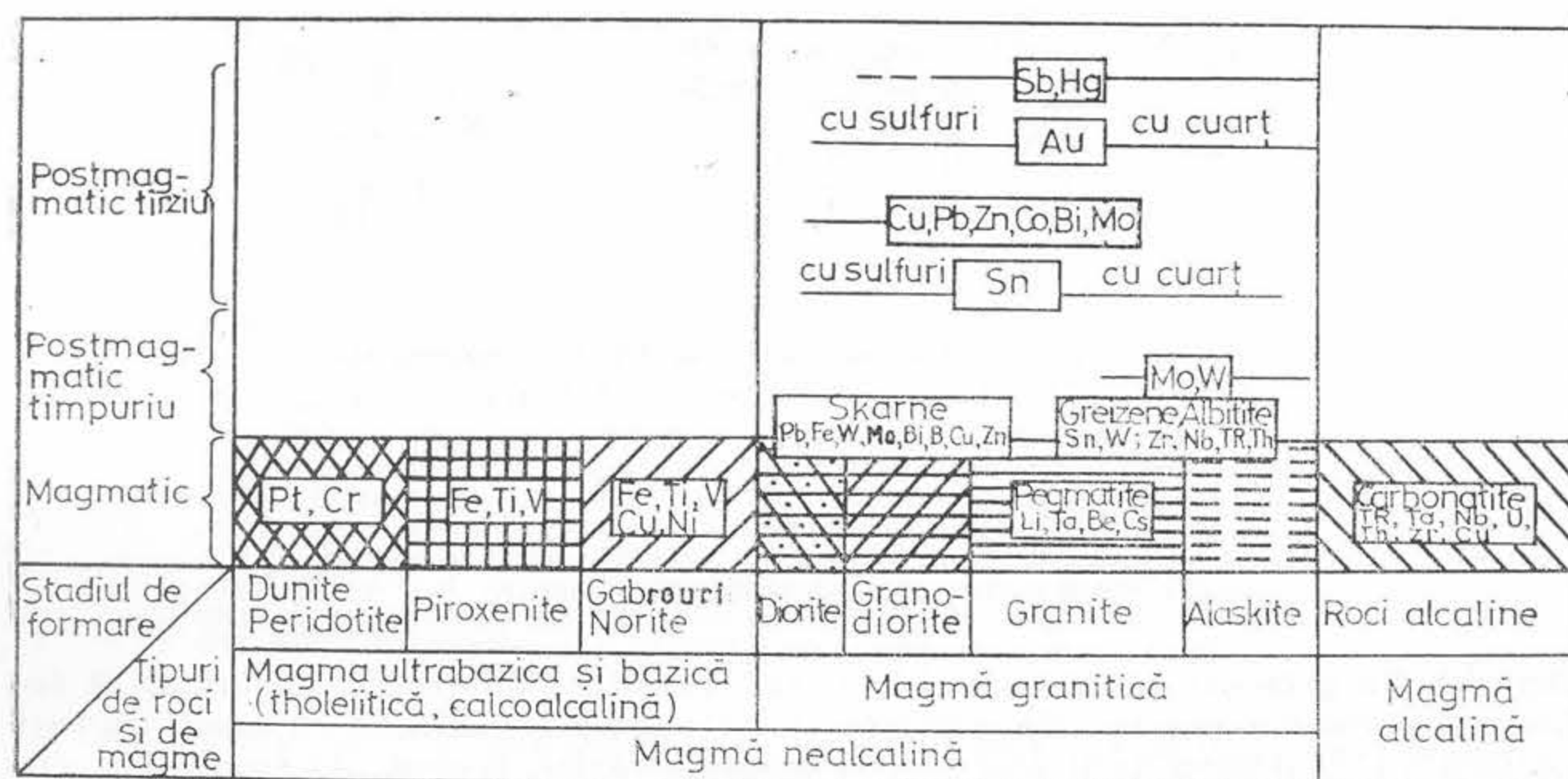


Fig. X.6. Afinitățile anumitor elemente pentru unele tipuri de magme.

concentrațiile de minerale metalice de natură lichidmagmatică din intruziunile de roci bazice și ultrabazice. Este cazul cromitului și platinei din peridotite și serpentinite, ilmenitului și titanomagnetitului din gabrouri și anortozite, pirotinei nichelifere din norite și gabrouri, diamantului din kimberlite etc.

În cazul relațiilor paragenetice, magmatitele și mineralizațiile asociate au ca element comun numai sursa, procesele genetice fiind deosebite. În astfel de relații se găsesc, de exemplu, mineralizațiile din skarne și greisene afiliate intruziunilor acide și intermediare, mineralizațiile de tip *porphyry copper* sau de tip *porphyry molybdenum* din intruziunile în facies porfiric, filoanele cu mineralizații auro-argentifere, cuprifere și polimetalice asociate vulcanismului andezitic.

De fapt, astfel de relații genetice și paragenetice sînt o continuare și, prin urmare, o concretizare a afinităților anumitor elemente pentru unele tipuri de magme (fig. X.6). Magma bazică și ultrabazică sînt în general deficitare în componenți volatili, ceea ce influențează concentrarea cu precădere a Pt, Os, Ir, Cr, Ti, V, Ni și Cu în faza lichidmagmatică. Magma acide au un conținut ridicat în componente volatile, ceea ce determină apariția fluidelor care generează treptat greisenele și albitele cu concentrații de Sn, W, Nb, Zr, Th, TR. Magma intermediare prezintă cantități suficiente de componente volatile, pentru ca fluidele diferențiate din acestea să contribuie la formarea skarnelor și mineralizațiilor asociate (Fe, B, W, Mo, Bi, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, U). Soluțiile hidrotermale provenite printr-o diferențiere evoluată

atît a magmelor acide cît și a celor intermediare concentrează Mo, W, Sn, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Bi, U, Au, Ag, Sb, Hg. În contrast cu magma nealcaline se află cele alcaline, pentru care prezintă afinități TR, Nb, Ta, Zr, Th, U etc. care se concentrează prin intermediul soluțiilor postmagmatice.

Din numeroasele observații de teren a rezultat că magma acide și intermediare generează cea mai mare parte din mineralizațiile postmagmatice; ele ar reprezenta circa 95% din ansamblul concentrațiilor postmagmatice afiliate magmelor nealcaline și alcaline.

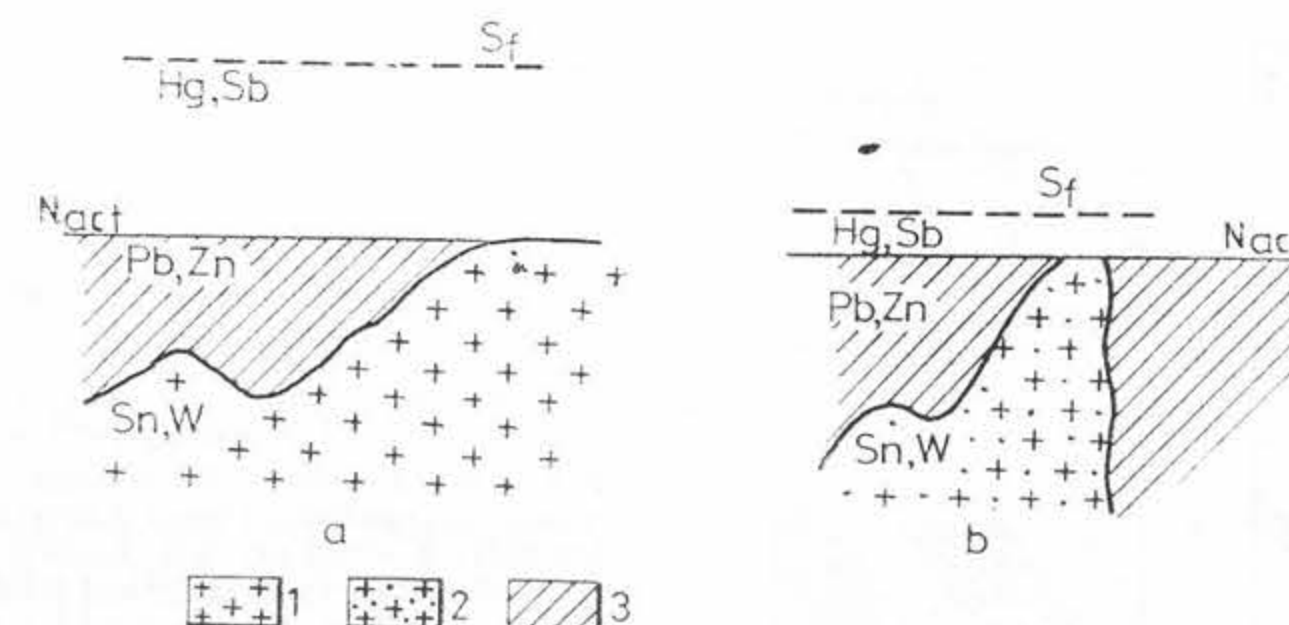


Fig. X.7. Relațiile dintre dezvoltarea mineralizațiilor în zonele de influență ale intruziunilor și granulația rocilor:

1 — granite; 2 — microgranite; 3 — formațiuni înconjurătoare; N_{act} — nivelul actual de eroziune; S_f — suprafața în momentul formării intruziunilor.

Aceste aspecte, oarecum generale pentru fundamentarea lucrărilor de prospecțiune, au fost adîncite în ultimul timp, în sensul identificării unor asociații preferențiale ale unor concentrații de substanțe minerale utile cu anumite tipuri de intruziuni. Spre exemplu, s-a stabilit că mineralizațiile de casiterit din pegmatite și de casiterit-cuarț, hidrotermale, sînt legate preferențial de intruziuni acide în care $K > Na$. În schimb, concentrațiile de casiterit-sulfuri sînt în asociație cu intruziuni intermediare, granodioritice sau cuarț-monzonitice. Conținutul în Sn al granitelor purtătoare de mineralizații staniifere este ridicat (16-30 g/t sau mai mult), în timp ce în granitele lipsite de astfel de mineralizații conținutul în Sn este scăzut; concentrarea staniului apare, în schimb, la nivelul biotitului (80 la 200 g/t Sn).

Efectuarea unor astfel de investigații sistematice, pe asociații de mineralizații și intruziuni, ar putea oferi o mai bună fundamentare a lucrărilor de prospecțiune, în sensul conturării arealelor cu diferite grade de perspectivă și chiar a precizării intruziunilor cu potențial metalogenetic ridicat.

Relațiile dintre concentrațiile metalifere și granulația rocilor eruptive, cu care acestea se asociază, permit a previziona dezvoltarea pe înălțimi mai mari sau mai restrînse a mineralizațiilor, în zonele de influență ale intruziunilor; mineralizațiile au o extindere mai mare în aria de influență a intruziunilor constituite din roci grăunțose și mai redusă în jurul intruziunilor alcătuite din roci microgrăunțose (fig. X.7). Această corelație este determinată de rata de răcire a magmei care, la rîndul său, va controla momentul de separare a soluțiilor metalizante din camera magmatică și modul lor de diferențiere în spațiu.

Forma de zăcămint a corpurilor eruptive, privită în corelație cu caracterul acid, intermediar, bazic sau ultrabazic al rocilor componente, oferă indicații asupra poziției în spațiu și chiar a tipurilor de mineralizații.

Concentrațiile de substanțe minerale utile asociate plutonilor și subvulcanilor cu caracter acid sau intermediar sînt localizate în zonele marginale și în cele de influență ale acestora (zone de contact, formațiuni înconjurătoare); ele au un caracter pegmatitic, pirometasomatic și hidrotermal. Se consideră că în apropierea apofizelor slab înclinate și de formă neregulată sînt cele mai favorabile condiții de depunere a

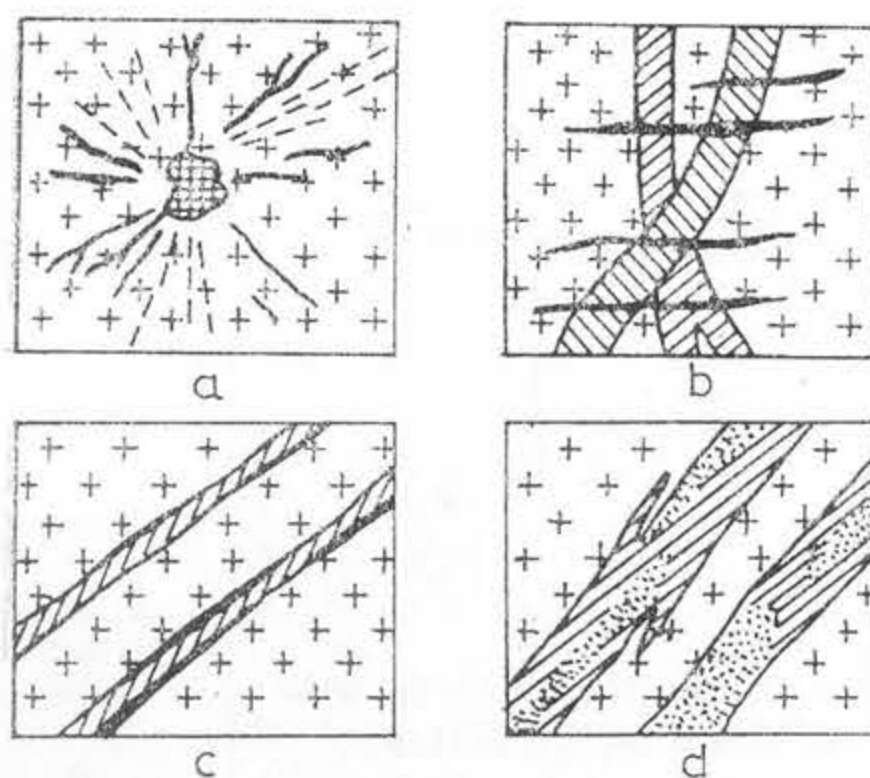


Fig. X.8. Relații între dik-uri de roci eruptive intermediare sau acide și mineralizații hidrotermale:

a - între dik-uri radiare (linii continue) și mineralizații (linii întrerupte); b - între dik-uri (cu hașuri) întretăiate de filoane metalifere (benzi negre); c - între dik-uri (hașuri) și mineralizații benzi (negre) localizate pe aceleași fracturi; d - dik-uri (cu hașuri) și mineralizații sub formă de impregnații (punctate).

acestor mineralizații. În faciesurile porfirice ale plutonilor și în rocile subvulcanice, adesea cu o rețea densă de fisuri, concentrațiile metalifere se pot dispune ca impregnații și vinișoare (volburi), însoțite de alterații hidrotermale caracteristice; sînt mineralizațiile de tip *porphyry*. Relațiile spațiale ale dik-urilor cu mineralizațiile hidrotermale pot varia de la o dispoziție radiară sau de întretăiere, pînă la localizarea pe aceeași fractură (fig. X 8).

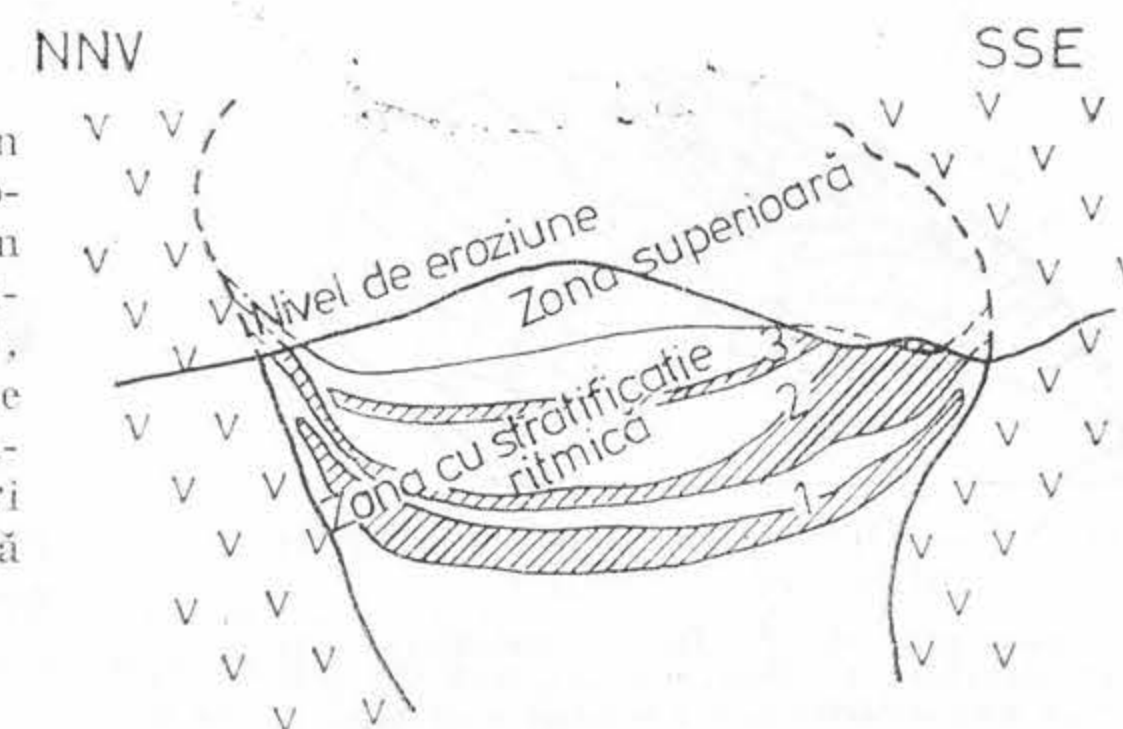
În contrast cu acestea, concentrațiile asociate lopolitelor, lacolitelor, pînzelor intruzive și dik-urilor de roci bazice și ultrabazice, diferențiate stratiform sau *alpino-tip* sînt localizate cu precădere în interiorul intruziunilor, ca diseminări, cuiburi, șlire și acumulări sub formă de orizonturi continue sau discontinue; ele au un caracter lichid magmatic. Depunerile hidrotermale sînt în afara intruziunilor și au o importanță redusă.

Mineralizațiile asociate aparatelor vulcanice și coloanelor de brecii din complexe vulcanice se dispun în apropierea contactului cînd au un aspect filonian, sau în interiorul acestora, cînd alcătuiesc volburi; uneori se dezvoltă în formațiunile înconjurătoare, la distanțe mai mari sau mai mici față de corpurile eruptive înrădăcinate, fiind controlate structural. Stivele de lave, uneori bazice (tholeiitice), alteori andezitice-dacitice, conțin corpuri stratiforme de sulfuri masive, vulcanogene, situate la limita cu formațiunile sedimentare acoperitoare; ele s-au format în condiții submarine.

Dimensiunea intruziunilor oferă o primă imagine asupra mărimii corpurilor de minereuri. Se consideră că zăcămintele cu dimensiuni mari sînt legate genetic de batholite, stock-uri și lopolite. Prin aceasta nu trebuie neglijată cercetarea intruziunilor de mică adîncime (lacolite, sfenolite, variate apofize, dik-uri) cărora li se asociază importante concentrații metalifere cu valoare deosebită.

Intruziunile bazice și ultrabazice sînt diferențiate stratiform sau *alpino-tip*. În cazul intruziunilor stratiforme, acumulările de substanțe minerale utile apar în orizonturile bazale sau intermediare; există situații cînd concentrațiile metalifere se găsesc la diferite nivele în profilul intruziunilor (fig. X.9). Orizonturile purtătoare de minerale utile sînt mai mult sau mai puțin continue, cvasiorizontale sau înclinate și prezintă grosimi variabile de la cîțiva centimetri la cîțiva zeci sau sute de metri. În cazul intruziunilor diferențiate *alpino-tip* concentrațiile de substanțe minerale utile formează șlire, cuiburi și diseminări în masa intruziunii.

Fig. X.9. Secțiune geologică prin dike-ul de la Almaș Săliște (Munții Drocea). Zona superioară - alcătuită din gabrouri și anortozite; zona cu stratificație ritmică - cuprinde trei nivele (1, 2, 3) formate din gabrouri, hiperite și dolerite cu magnetit (benzile hașurate) care alternează cu gabrouri (porțiunile albe). Intruziunea se află în bazalte tholeiitice, jurasice.



Elementele structurale ale unei intruziuni pot fi *primare* și *secundare*. Primele elemente structurale, sesizabile la scară microscopică sau mezosopică, se formează în faza de curgere (pretectonică), cînd are loc procesul de cristalizare, și în faza solidă,

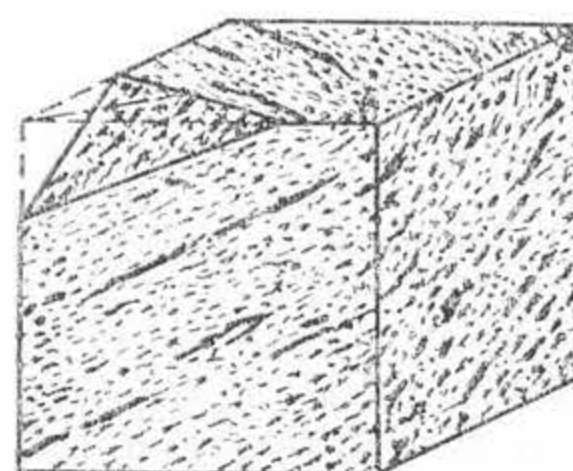


Fig. X.10. Dispunerea benzilor de minereu în planul de curgere.

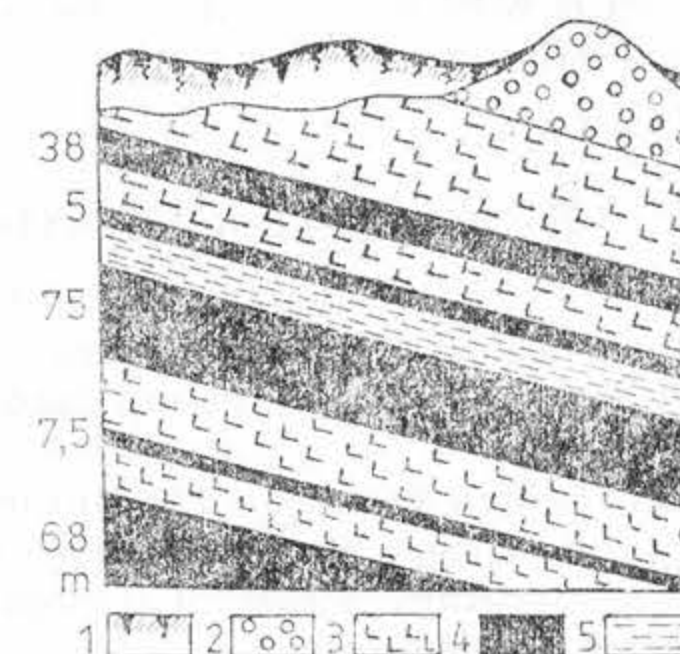


Fig. X.11. Localizarea benzilor de cromit în lopolitul de la Bushveld: 1-sol; 2-anortozite; 3-gabrouri; 4-cromite; 5-bronzite.

după consolidarea zonelor periferice ale camerei magmatice. În faza de curgere apar foliația și liniația (fig. X.10), în lungul cărora se dispun mineralele utile; uneori ele pot da naștere la acumulări stratiforme (fig. X.11). În faza solidă rezultă fisuri primare, localizate în părțile marginale ale intruziunii, unele conform cu foliația și liniația

(fig. X.12). Fisurile transversale (5), fisurile slab înclinate (3) și fisurile marginale (2) pot conține mineralizații hidrotermale și pegmatite; fisurile longitudinale (4) și fisurile diagonale (6 și 7) sînt de regulă închise și lipsite de mineralizații.

Elementele structurale secundare se datoresc mișcărilor tectonice, care se manifestă după formarea corpului intruziv. Ele au extinderi mari și conțin mineralizații, așa cum am menționat la premisele structurale.

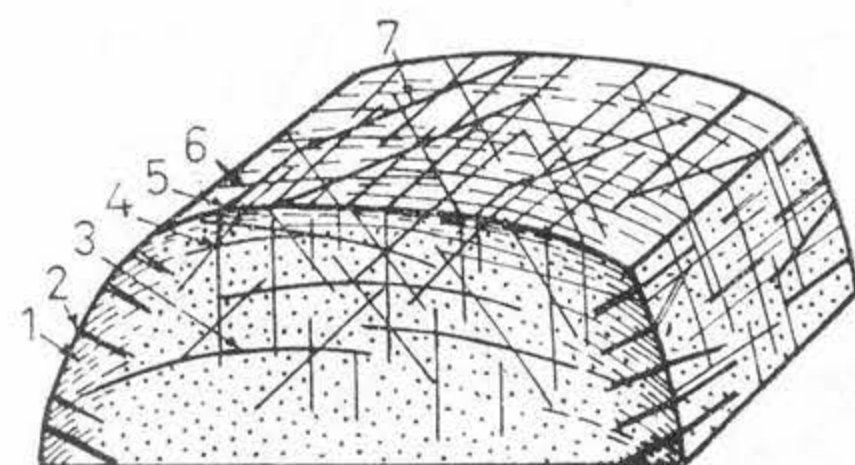


Fig. X.12. Orientarea fisurilor primare într-un corp intruziv:

1 - liniație primară; 2 - fisuri marginale; 3 - fisuri tangențiale; 4 - fisuri longitudinale; 5 - fisuri transversale; 6 și 7 - fisuri diagonale.

Distribuția zonală a mineralizației (fig. X.13) are o valoare deosebită în stabilirea relațiilor dintre anumite substanțe minerale utile și intruziunile care le-au generat. Variația sistematică a compoziției mineralogice sau chimice în cuprinsul zonelor cu mineralizații, ca și tendințele de dezvoltare a acestora în acoperișul intruziunii, constituie elemente de orientare a lucrărilor de prospecțiune.

1.1.3. PREMISE LITO-STRATIGRAFICE

Natura litologică și poziția stratigrafică a formațiunilor în care se concentrează substanțele minerale utile prezintă importanță în fundamentarea lucrărilor de prospecțiune.

Astfel, pentru formarea zăcămintelor postmagmatice, un rol esențial îl au *porozitatea și cazașia rocilor*. Prezența rocilor poroase sau traversate de variate sisteme de fisuri asigură circulația soluțiilor mineralizante și, prin urmare, condiții favorabile pentru localizarea concentrațiilor de substanțe minerale utile.

În același timp, *existența într-o regiune a unor formațiuni carbonatice, străbătute de intruziuni acide-intermediare, calco-alkaline sau alcaline, însoțite de un cortegiu de transformări pneumatolitice și hidrotermale* reprezintă un criteriu important pentru conturarea unor zone posibil purtătoare de concentrații metasomactice de fier, molibden, bismut, wolfram, cupru, plumb-zinc-argint etc. Formațiunile purtătoare de șisturi carbunoase, șisturi cuprifere sau piritoase, lamprofire, amfibolite etc. sînt medii favorabile pentru concentrarea intensivă a anumitor mineralizații cum sînt cele de aur sau uraniu; mineralizațiile vor fi mai bogate în zonele de intersecție a fracturilor, prin care

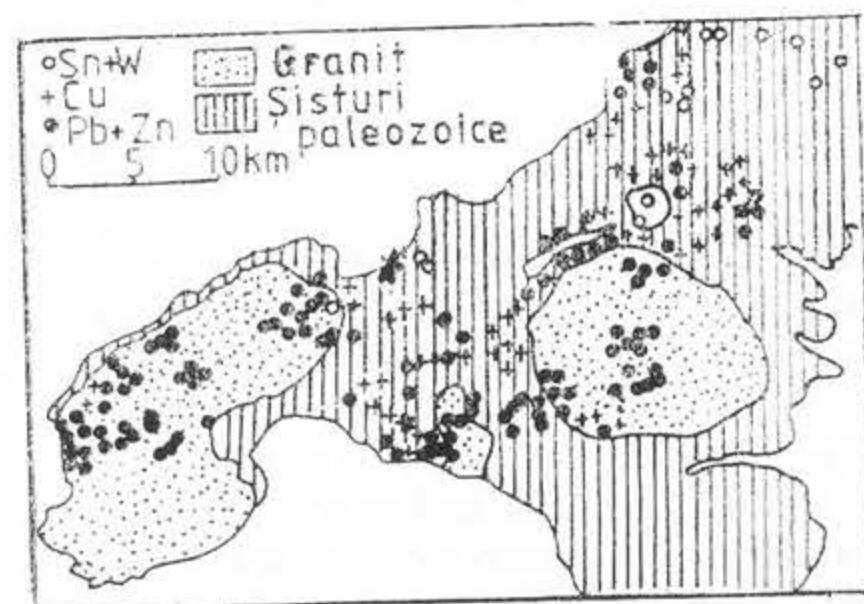


Fig. X.13. Distribuția zonală a mineralizațiilor de la Cornwall—Anglia.

circulă soluțiile mineralizante, cu rocile care constituie mediul reducător. Este influența topominerală prin care se exprimă relațiile spațiale dintre unele roci și concentrații metalifere.

Controlul stratigrafic se poate manifesta la scară regională sau locală, mai ales în cazul zăcămintelor de afiliație sedimentară. La diferite nivele, în *secvențele formațiunilor sedimentare, marine sau lagunare*, se pot afla, de la caz la caz, concentrații sedimentare chimice, vulcanogene sau de evaporare ca, spre exemplu, de fier, mangan, aluminiu, sulfuri, săruri, sulfati, argile etc. Pe suprafețele de peneplenizare, unde se manifestă un control geomorfologic riguros alături de cel stratigrafic, se găsesc adesea depuneri reziduale de nichel, fier, mangan, aluminiu etc.

În general, localizarea zăcămintelor în anumite etaje, orizonturi sau nivele ale unor formațiuni geologice, face necesară cunoașterea detaliată a unităților stratigrafice, a variațiilor de faciesuri și a accidentelor tectonice, care pot determina efilarea sau dispariția acestora.

1.1.4. PREMISE PALEOGEOGRAFICE

Elementele paleogeografice sînt utilizate în fundamentarea lucrărilor de prospecțiune, mai ales în strînsă corelație cu cele paleotopografice și geomorfologice, deoarece ele sînt esențiale în formarea și localizarea minereurilor. Dintre astfel de elemente reținem relieful ariilor de acumulare și dependența de ariile sursă, cursul paleorîurilor, variația liniei de țărm, direcția curenților în ariile de acumulare, paleoclimatul, existența unor centre de activitate vulcanică sau de izvoare fierbinți.

Mediul marin prezintă variate forme de relief cu acumulări specifice de substanțe minerale utile, distribuite în spațiu în funcție de paleotopografie (fig. X.14). *Zonele litorale și de platformă continentală* sînt favorabile concentrațiilor de fier oolitic, plumb și zinc, cupru și fosfați; *în golfurile mai mult sau mai puțin închise* se pot localiza unele minereuri de fier, cupru etc. *Pragurile* dintre două arii marcate de strîmtori, istmuri

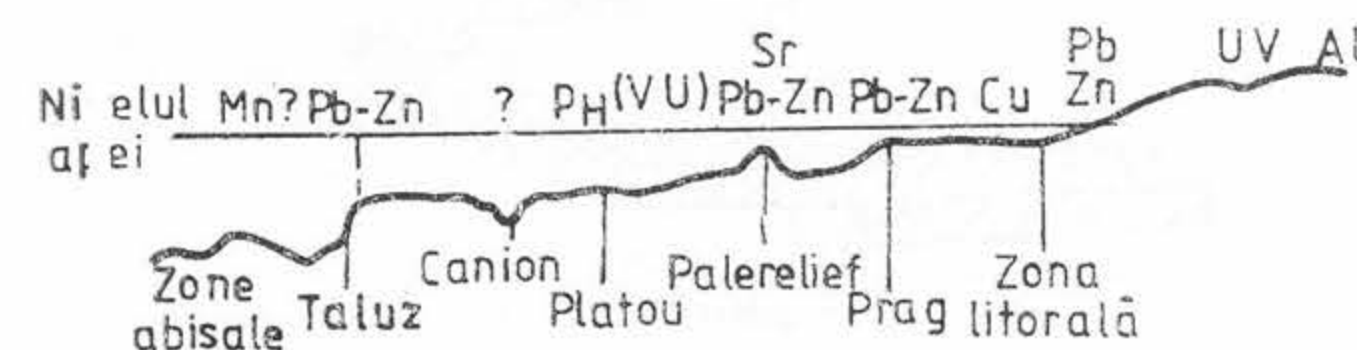


Fig. X.14. Distribuția concentrațiilor de minereuri în funcție de paleogeografie (după P.Nicolini, 1970)

formațiuni coraligene, zone pelagice etc. au uneori un rol important în localizarea concentrațiilor de substanțe minerale utile; un exemplu îl constituie istmul Kafue care separă două aliniamente de mineralizații cuprifere din Zambia (fig. X.15). *Marginile ariilor peneplenizate* constituie regiuni potențiale cu variate concentrații biogene și chemogene, ca de exemplu: bauxite, minereuri de fier și mangan, săruri, argile refractare. Uneori *denivelările carstice* conțin acumulări de fier, mangan, plumb-zinc, bauxite, osforite, baritină etc.

Reconstituirea cursurilor unor *vechi rețele hidrografice* este importantă deoarece în astfel de paleovăi și paleocuvete se găsesc depuneri de placersuri cu metale și pietre prețioase sau concentrații de uraniu, cupru și vanadiu; unele acumulări detritice (magnetit, ilmenit, rutil, zircon etc.) se află în *zonele de vărsare în mare* a acestor paleovăi. Descifrarea fluctuației liniei de țărm în cadrul procesului de transgresiune-regresiune ca și a orientării curenților marini, în strânsă corelație cu natura petrografică a formațiunilor geologice, oferă elemente pentru conturarea zonelor de concentrare a minereurilor, uneori chiar a diverselor faciesuri pe care le îmbracă acestea. Un exemplu de relație între fluctuația liniei de țărm și depunerea diferitelor sulfuri este redat în fig. X.16.

De regulă, *formațiunile transgresive* sînt purtătoare de concentrații de fosfați; minereurile de fier, mangan, aluminiu (bauxite) și de sulfuri se asociază rocilor situate mult deasupra suprafețelor de transgresiune. În condiții de regresiune, pe uscat se ma-

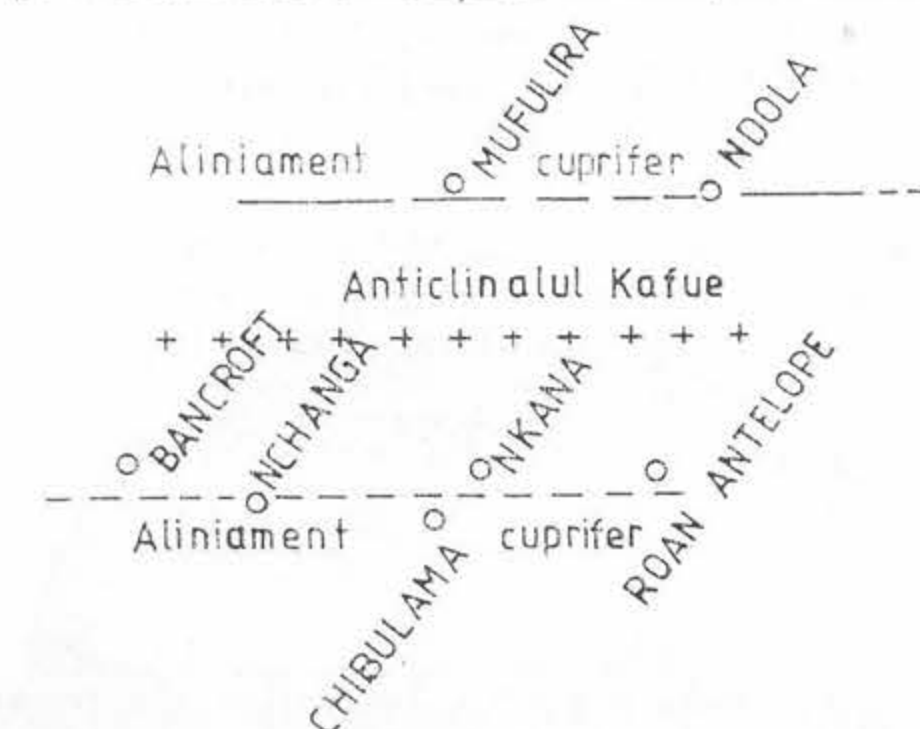


Fig. X.15. Istmul Kafue care separă două aliniamente cu mineralizații cuprifere din Zambia (după P. Nicolini, 1970). Cerculețele indică principalele zăcăminte de cupru.

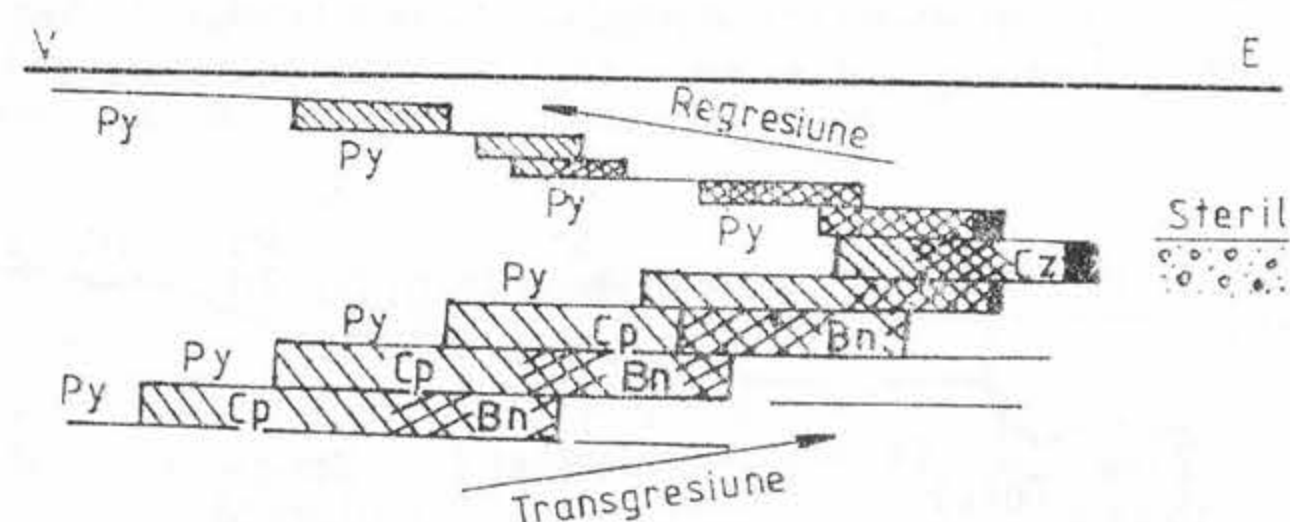


Fig. X.16. Relații între zonalitatea sulfurilor de natură sedimentară și fluctuația liniei de țărm (după W. G. Garlick, din P. Nicolini, 1970):

Py – pirită; Cp – calcopirită; Bn – bornit; Cz – calcozină.

nifestă intensiv procesul de alterație, generind acumulări reziduale, iar în lagune procesul de evaporare, care conduce la depuneri de săruri.

Efectele *paleoclimii* se resimt puternic în geneza și localizarea minereurilor exogene, îndeosebi reziduale și de infiltrație; este cazul concentrațiilor de hidrosilicați de nichel pe serpentinite, laterite aluminoase pe roci silicatate slab ferifere, caoline pe roci feldspatice, oxizi de mangan pe roci primare manganifere, pălării de fier cu con-

ținuturi ridicate de Au, Fe, Pb pe unele zăcăminte de sulfuri. În general, climatul tropical și subtropical favorizează apariția lateritelor nichelifere și ferifere cu concentrații de asbolan, ca și a lateritelor aluminoase (bauxite) pe roci parentale silicatate (bazite, ultrabazite, sienite), iar cel temperat a unor concentrații reziduale de caolin pe roci feldspatice sau de fosfor, fier și mangan pe roci carbonatice.

Existența unor *centre de activitate vulcanică submarină* sau cu manifestări de *izvoare fierbinți* constituie premise pentru delimitarea unor areale cu sedimente feruginoase sau manganifere, ca și cu acumulări stratiforme de sulfuri vulcanogene.

1.1.5. PREMISE METAMORFICE

Premisele metamorfice, în corelație cu cele structurale, magmatice, litostratigrafice și paleogeografice oferă o primă imagine asupra formațiunilor cristalofiliene posibil purtătoare de substanțe minerale utile de afiliație metamorfică. O astfel de valorificare complexă a premiselor este necesară în vederea descifrării naturii premetamorfice a formațiunilor purtătoare de concentrații metalifere, a proceselor de metalogeneză premetamorfică și a aspectelor imprimate de metamorfism.

Conturarea zonelor favorabile și fundamentarea teoretică a investigațiilor în terenurile cristalofiliene implică cunoașterea următoarelor aspecte: a) asociațiile petrografice, inclusiv caracterul lor premetamorfic, succesiunea pe verticală a formațiunilor, variațiile laterale de faciesuri ale mediului litologic prospectat; b) comportarea minereului în metamorfismul dinamic, regional, de îngropare și termic (modificări morfologice, structurale, texturale și mineralogice cu fenomenele de remobilizare și concentrare locală; modificări în succesiunea normală de depunere); c) corelația între concentrațiile metalifere și nemetalifere cu faciesurile metamorfismului regional (tabelul X.1); d) cadrul tectonic în care s-a desfășurat metalogeneză premetamorfică și deformările plicative și rupturale care au afectat formațiunile purtătoare de substanțe minerale utile.

Tabelul X.1

Asociații de concentrații de substanțe minerale utile cu faciesurile metamorfismului regional

Concentrații de substanțe minerale utile	Faciesuri
Cupru nativ	Zeolitic
Hematit și magnetit, siderit-ankerit, aur, uraniu, sulfuri, grafit, azbest etc.	Șisturi verzi
Silicați de mangan și zinc, magnetit, disten, sillimanit, corindon, șmirghel, grafit, ilmenit etc.	Amfibolitic
Magnetit, rutil, granați etc.	Granulitic
Rutil	Eclogitic

Pentru anumite regiuni este caracteristică asociația unor formațiuni cristalo-filiene cu vulcanite bazice, dolerite, gabrouri și ultrabazite, metamorfozate în faciesul șisturilor verzi sau amfibolitic, care constituie elemente de litosferă oceanică; de intruziunile bazice și ultrabazice pot fi legate genetic concentrații lichidmagmatice (Cr, Pt, Ni, Fe, Ti, V), iar de poleovulcanitele bazice concentrații vulcanogene de pirită și cupru, ca și de mangan. Frecvente sînt paleovulcanitele acide în masa complexelor cristalo-filiene, cu care se pot asocia mineralizații vulcanogene de sulfuri (Zn, Pb, Cu). Recunoașterea unor astfel de formațiuni de metamorfite în complexele cristalo-filiene constituie un metalotect regional cu perspective importante pentru o metalogeneză lichidmagmatică și vulcanogenă stratiformă, tip *Cipru* sau tip *Kuroko*.

Uneori, în formațiunile cristalo-filiene apar corpuri granitoide sincinematice sau postcinematice, în aureola cărora se pot afla concentrații pegmatitice (feldspați, mică, metale rare, pietre prețioase etc.) sau pirometasomatice și hidrotermale (Sn, W, Au, Pb, Zn, Ag etc.), mai ales în apropierea apofizelor acestora. O importanță deosebită au lentilele și filoanele de cuarț aurifer, mai ales în regiunile de platformă.

Descifrarea structurii geologice a terenurilor metamorfice, cu reconstituiri ale paleomediilor de sedimentare, permite nu numai precizarea condițiilor de formare a unor concentrații premetamorfice (Fe, Mn, sulfuri) de natură sedimentară, chimică și biochimică, sau a unor concentrații metamorfice propriu-zise (grafit, disten, granați, rutil etc.), dar și conturarea arealelor cu diferite grade de perspectivă de a identifica astfel de resurse minerale.

1.1.6. PREMISE GEOCHIMICE

O importanță deosebită pentru orientarea lucrărilor de prospecțiune în general și a celor geochimice în special prezintă cunoașterea acelor zone în care elementele chimice se găsesc într-o concentrație mai scăzută decît în zăcămint, dar mai ridicată decît în mediul înconjurător, zone cunoscute sub denumirea de *aureole de dispersie* sau *aureole geochimice* (fig. X.17). Ele reflectă la o scară mai mare forma zăcămintului

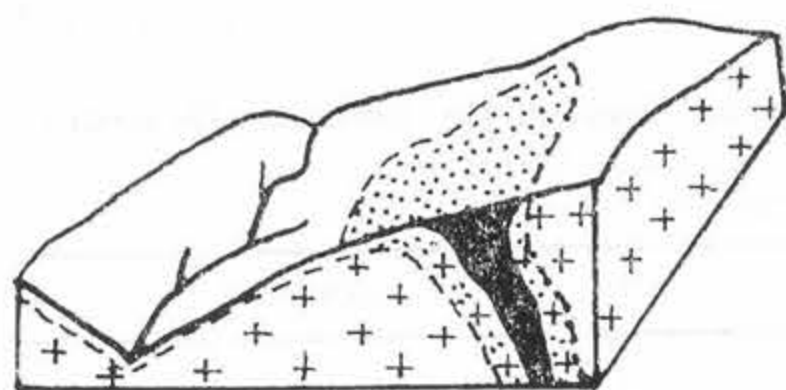
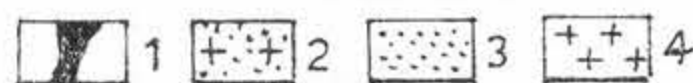


Fig. X.17. Aspectul unei aureole de dispersie :
1 — corp de substanță minerală utilă; 2 — aureolă de dispersie primară în granite; 3 — aureolă de dispersie secundară în sol; 4 — granite.



și pot fi folosite în prognoza privind existența unei mineralizații într-o regiune, în-deosebi atunci cînd contrastul dintre zonele cu conținuturi maxime și cele cu conținuturi minime din cuprinsul lor este puternic.

Aceste aureole geochimice, care pot să apară la zi sau pot fi ascunse în anumite structuri geologice, se grupează în: *aureole de dispersie primară* — formate simultan cu concentrațiile de substanțe minerale utile și *aureole de dispersie secundară* — rezultate prin procese de alterare supergenă a corpurilor de substanțe minerale utile.

La rîndul lor, fiecare din aceste două tipuri de aureole poate avea un caracter *singenetic*, dacă apare în același timp cu rocile înconjurătoare sau *epigenetic*, dacă rezultă după formarea acestora.

În primul caz, al aureolelor singenetice, trecerea de la zăcămint la zona învecinată se face treptat, forma aureolei reproducînd forma corpului de minereu și ne-fiind influențată de accidentele tectonice decît dacă rocile sînt străbătute de formațiuni mai noi și de altă natură decît roca gazdă. Astfel de aureole geochimice primare au extinderi mari și pot prezenta asociații tipice de elemente cu anumite roci (Cr, Pt, în peridotite și dunite, Ni, Cu în norite); ele sînt specifice zăcămintelor lichidmagmatice și zăcămintelor sedimentare și se folosesc la prospectarea concentrațiilor de Cr, Fe-Ti-V, Ni, Fe, Mn etc.

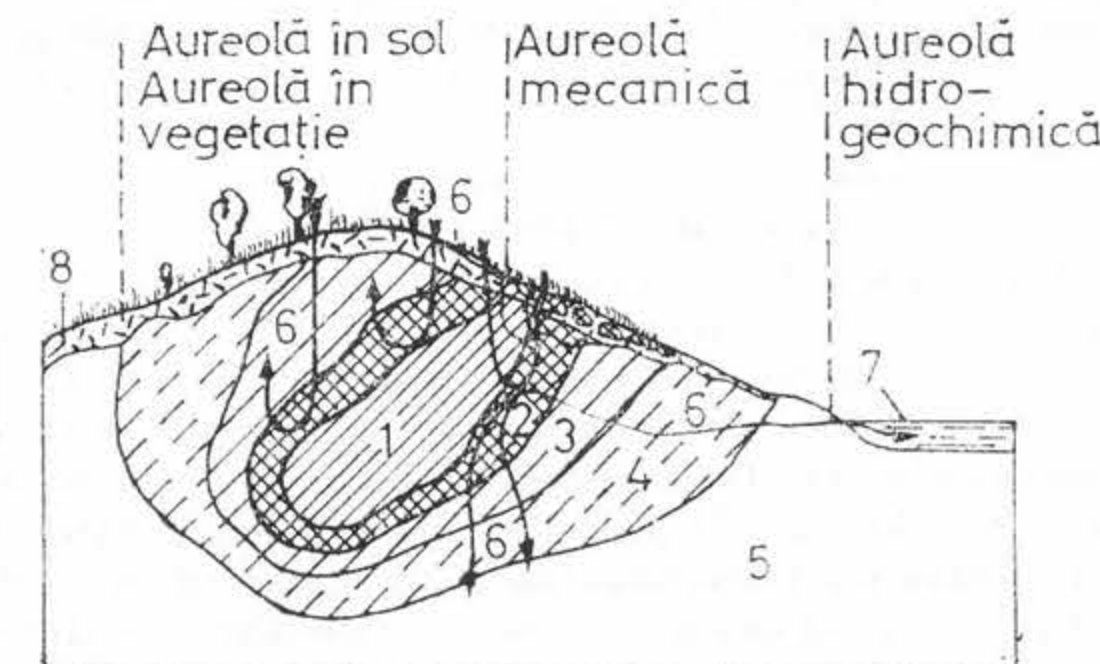
În cel de al doilea caz, al aureolelor primare epigenetice, trecerea de la zăcămint la aureolă este în general tranșantă, conținutul scăzînd brusc la limita dintre mineralizație și roca gazdă; mărimea aureolei nu depinde atît de forma și concentrația zăcămintului în componenți utili, cît mai ales de mobilitatea elementelor din fluidele mineralizante și de proprietățile rocilor gazdă. Forma și chiar compoziția chimică a aureolelor epigenetice sînt în mare măsură determinate de căile de acces ale soluțiilor, ca și de natura mediului înconjurător. Ele se pot forma în jurul zăcămintelor lichidmagmatice de injecție, pegmatitice, pirometasomatice, hidrotermale, mai rar a celor metamorfice, iar dintre cele exogene numai în apropierea zăcămintelor de infiltrație.

În cazul zăcămintelor postmagmatice este necesar să se stabilească relațiile dintre aureolele de dispersie și zonele afectate de transformări hidrotermale; acestea din urmă pot fi sincrone sau anterioare formării aureolelor de dispersie.

În categoria aureolelor de dispersie secundară, formate în timpul și din cauza proceselor de hipergeneză a zăcămintelor sînt incluse: aureole mecanice, aureole hidrogeochimice, aureole pedogeochimice și aureole biogeochimice (fig. X.18).

Fig. X.18. Schema formării aureolelor de dispersie secundară :

1 — zăcămint; 2, 3, 4 — aureolă geochimică în roca gazdă; 5 — roca gazdă necontaminată; 6 — ape de infiltrație; 7 — ape curgătoare; 8 — sol.



Aureolele mecanice iau naștere prin procese de alterare supergenă în care dezagregarea fizică deține rolul principal, iar dispersia elementelor chimice se realizează prin intermediul unor agenți de transport, care antrenează mineralele rezistente la alterare. Ele pot fi: eluviale, deluviale, proluviale, aluviale și glaciare (fig. X.19).

— *Aureolele eluviale* se formează „in situ” în regiuni cu relief puțin accidentat. Zona anomală este restrînsă ca extindere, are o poziție simetrică față de zăcămint, iar concentrațiile maxime se situează chiar deasupra sursei primare. Au fost utilizate pentru detectarea unor concentrații de aur, casiterit, wolframit, ceruzit ș.a.

— *Aureolele deluviale și proluviale* rezultă prin deplasarea pe mici distanțe a materialului dezagregat, el concentrându-se pe pantă, de unde și forma alungită a zonelor anormale; concentrațiile maxime se află, prin urmare, în aval de poziția corpului de minereu, considerat ca sursă primară.

— *Aureolele aluvionare* iau naștere în urma transportului pe distanțe mai mult sau mai puțin lungi față de sursa primară, a sortării și depunerii materialului insolubil de către apele rețelei hidrografice; ele se caracterizează printr-o formă liniară. În prin-

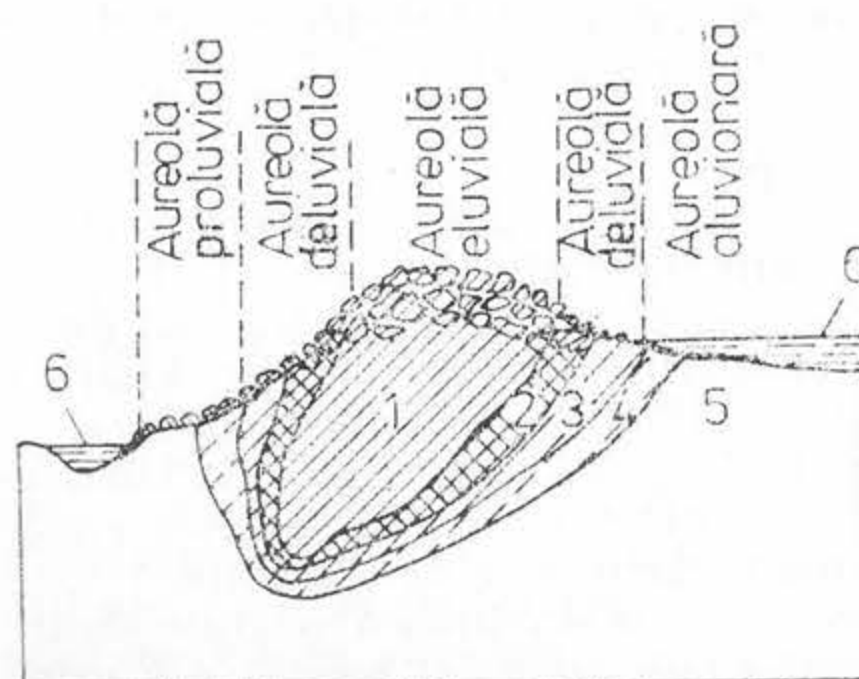


Fig. X.19. Aureole de dispersie secundară, mecanică:

1 — zăcămint; 2, 3, 4 — aureolă geochimică primară; 5 — roca gazdă; 6 — rețea hidrografică.

ciu, sursa primară a acestor aureole este localizată în apropiere de cota cea mai ridicată pînă la care s-a detectat aureola geochimică de-a lungul unei văi.

— *Aureolele glaciare* constituie zone de dispersie în apropierea zăcămintelor sau aureolelor primare antrenate de ghetari. De regulă au forma de evantai și ca extindere nu depășesc 1—2 km, în medie. În Scandinavia au fost conturate aureole glaciare ale unor zăcăminte de Cu, Zn, Pb, Fe, Mn, iar în Canada ale unor importante concentrații de Fe.

Aureolele hidrogeochimice apar ca urmare a trecerii mineralelor instabile în soluții apoase sau suspensii coloidale, sub acțiunea apelor de infiltrație supergenă sau celor din pînza freatică. Extinderea lor depinde de capacitatea de migrare a elementelor în soluție, iar forma este de regulă liniară. Identificarea lor se face pe baza conținutului de SO_4^{2-} , de Cl^- , a diferitelor elemente metalice și a pH-ului.

Aureolele pedogeochimice rezultă din solubilizarea unor minerale și migrarea elementelor în sol. Dezvoltarea lor este determinată de natura, compoziția și textura solului, de valoarea pH-ului, de climă, de activitatea biologică, de relief etc. Ele iau naștere deasupra mineralizațiilor, au extinderi mari și prezintă în general un contrast puternic. În mod obișnuit, aureolele de dispersie din soluri pun în evidență o suprapunere a celor două tipuri de aureole pedogeochimice, singenetice și epigenetice, care se caracterizează printr-o accentuare a contrastului dintre fond și anomalii.

Cele mai multe aureole de dispersie secundară în soluri, identificate la noi în țară, sînt de tip singenetic (ex. în Munții Țibleş, în Munții Drocea, în Munții Poiana Ruscă la Muncelul Mic).

Aureolele biogeochimice sînt legate de plantele care se dezvoltă pe aureolele primare sau secundare din roci, ape și sol, formate în jurul corpurilor de substanțe minerale utile, care pot încorpora anumite elemente metalice (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, U, Au) în proporții mult mai mari decît plantele din zone fără mineralizații. Asimilarea elementelor de către plante poate conduce, în unele cazuri, la concentrații

excesive care să provoace apariția unor aspecte patologice (teratologice): dezvoltări anormale, modificarea culorii frunzelor, abundența unor specii sau dispariția altora etc. Aceste aspecte reprezintă premise pentru prospecțiunea geobotanică și pentru prospecțiunea biogeochimică.

În general aureolele secundare au extindere mai mare în suprafață decît aureolele primare și, deci, pot fi mai ușor identificate și conturate prin lucrări de prospecțiune geochimică. Pentru localizarea corpurilor mineralizate sînt, însă, necesare cercetări minuțioase, deoarece conținutul în elemente chimice este mult mai variabil decît în cazul aureolelor primare. În cadrul aureolelor secundare se pot distinge: *aureole semnificative* cu concentrații mari sau concentrații reduse — care au o legătură cu sursa mineralizată și *aureole nesemnificative*, care nu au relații cu zone mineralizate și se datoresc contaminărilor, erorilor în colectare și analize etc.

Interpretarea aureolelor de dispersie trebuie făcută în strînsă corelație cu observațiile geologice. Identificarea aureolelor suprapuse, separarea celor semnificative de cele nesemnificative, ca și selecționarea celor de interes practic, cu perspective de a identifica corpul de minereu sursă, asigură elaborarea unui program de cercetare cu lucrări miniere sau de foraj.

1.2. INDICATORI ÎN PROSPECȚIUNEA GEOLOGICĂ

Informații privind existența unor concentrații de substanțe minerale utile, într-o anumită structură geologică, se pot obține prin intermediul: 1) *indicatorilor naturali*, care au la bază elemente legate atît de cortegiul de fenomene metasomatice, imprimate în rocile înconjurătoare în momentele formării concentrațiilor de substanțe minerale utile, cît și de evoluția ulterioară a acestor concentrații, sub acțiunea proceselor de alterație, cînd rezultă aureolele de dispersie secundară; 2) *indicatorilor proveniți din alte surse*, cum sînt documentațiile geologice, muzeele geologice și populația localnică, privind activitatea geologică și minieră în trecut sau chiar existența unor ocurențe de mineralizații în regiunea ce urmează a fi prospectată.

1.2.1. INDICATORI NATURALI

Aceștia pot oferi informații directe sau indirecte asupra prezenței unor substanțe minerale utile în regiunea în care se execută lucrări de prospecțiune, în funcție de gradul de înrudire a elementelor examinate cu corpul de minereu.

Informațiile directe sînt date de: aflorimentele de substanțe minerale utile; zonele de oxidare ale corpurilor de substanțe minerale utile; fragmentele cu minerale utile; concentratele de minerale grele; mîlurile din albia cursurilor de ape; izvoarele de ape minerale.

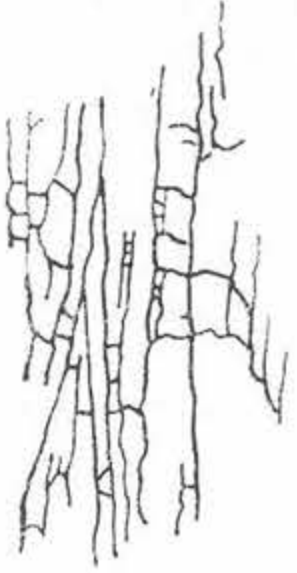


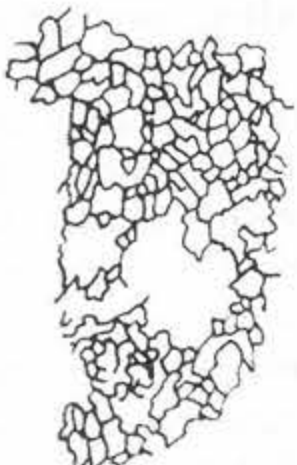
— **Aflorimentele de substanțe minerale utile** sînt primele informații și cele mai certe, referitoare la existența unor concentrații de substanțe minerale utile.

— **Zonele de oxidație ale corpurilor de minereuri** constituie surse de indicații directe prin aspectele texturale, compoziția mineralogică, compoziția chimică și culoarea pălăriilor de fier.



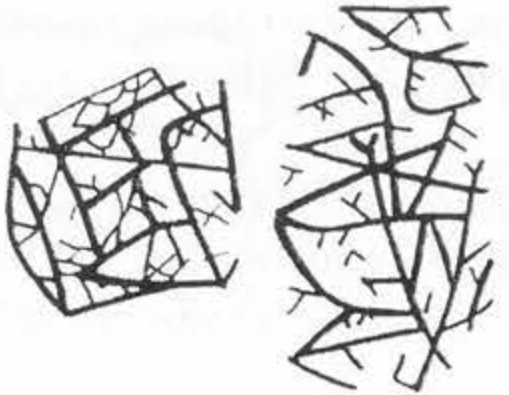
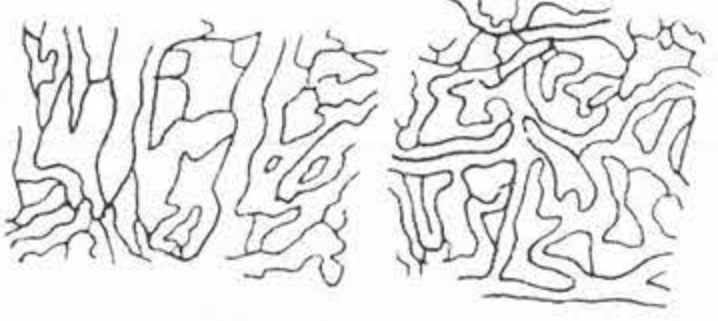

Aspectele texturale ale pălăriilor de fier, extrem de variate, sînt caracteristice pentru recunoașterea tipurilor de minerale primare care au fost transformate în zona de oxidație (tabelul X.2); frecvența vacuolelor pălăriei de fier poate oferi o primă

Tabelul X.2

Aspecte texturale ale pĂlĂriei de fier

Mineralul primar	Textura	Caracteristici
1	2	3
Galenă		Pereții laterali sînt rectilinii, paraleli, urmĂnesc liniile de clivaj ale galenei și sînt constituiți din limonit silicios; perpendicular pe acest sistem apar lamele paralele și discontinue, care nu depășesc 1 mm lungime; grosimea pereților este de 0,05–0,5 mm
		Pereții laterali sînt divergenți
		Pereții au o dispoziție radiară
Blendă		Aspectul unui burete

Tabelul X.2 (continuare)

1	2	3
		Pereții laterali sînt constituiți din vinișoare de cuarț, uneori cu pigment limonitic, dispuse în fascicule paralele; legătura dintre pereții laterali se face prin diferite sisteme de lamele
Calcopirită		Asemănătoare cu ale blendei; lungimea pereților redusă, vinișoarele de cuarț sînt paralele, iar pereții transversali sînt mai puțin rezistenți; depuneri de limonit pe pereți și în vacuole
Bornit		Vacuolele au formă triunghiulară (1–10 mm) și conțin limonit; grosimea pereților este de 0,05–0,5 mm
Tetraedrit		Pereții sînt continui și rezistenți; forma generală amintește de curbele de nivel ale unui relief accidentat
Molibdenit		Pereții au aspectul unor foițe care urmăresc clivajul după fața de pinacoid

imagine privind raportul dintre mineralele metalice și nemetalice (ganga) aflate în zona primară a corpului de minereu.

Unele minerale metalice primare dintr-un corp de minereu se pot conserva chiar la nivelul zonei de oxidație, evitând alterația, datorită depunerii de minerale secundare pe suprafața lor; este cazul galenei, care poate fi protejată de o crustă de anglezit sau ceruzit. Identificarea unor astfel de minerale oferă indicații directe asupra tipului de mineralizație existentă în zona primară. Informații, în acest sens, pot da și mineralele secundare tipomorfe, formate în cuprinsul zonei de oxidație. Astfel, depunerile de annabergit și eritrină trădează, aproape fără excepție, existența arseniurilor de cobalt și nichel în adâncime, în zona primară; prezența malachitului, azuritului, cupritului, tenoritului sau calcantitului indică o mineralizație primară de sulfuri de cupru. Tipul de mineralizație existent în zona primară a unui corp se poate preciza și pe baza analizelor chimice sau spectrale, executate pe bucăți de minereu prelevate din zona de oxidație.

Culorile mineralelor oxidate, din zona de afloriment (tabelul X.3), permit recunoașterea și conturarea pălăriei de fier, identificarea mineralelor secundare, tipomorfe și, prin acestea, a paragenzelor de minerale metalice din zona primară a corpului de minereu; conturarea pălăriei de fier este ușurată nu numai de contrastul de culoare față de formațiunile înconjurătoare, dar și de larga sa extindere în suprafață, mai mare decât a corpului de minereu, ca urmare a dispersiei puternice a elementelor în timpul procesului de oxidare.

— **Fragmentele cu minerale utile** din aureolele de dispersie mecanică, provenite prin alterația supergenă a corpurilor de substanțe minerale utile, dau informații directe asupra tipului de mineralizație, prin examinarea paragenzelor de minerale, ca și asupra

Tabelul X.3

Culorile pălăriilor de fier

Culoarea	Minerale oxidate	Culoarea	Minerale oxidate
Galben, brun, maro, roșu	Mineralele limonitice, sulfati	Verzui	Annabergit, garnierit
Verde, albastru	Carbonați, sulfati, silicați	Galben	Bismutit
Negru	Oxizi și hidroxizi de mangan	Galben deschis	Molibdit, wulfenit
Roz	Eritrină	Galben portocaliu Galben deschis, roșu	Cervantit, senarmontit Plumbojarosit

distanței până la afloriment. În acest din urmă caz, se examinează dimensiunea și aspectul exterior al fragmentelor; în apropiere de afloriment se depun fragmentele groșiere și cu greutate specifică mare, pentru ca acelea transportate la distanțe mai mari

să fie rotunjite și cu dimensiuni mai mici (fig. X.20). Dacă se determină *coeficientul de rotunjire* (k) al fragmentelor de minereu, se poate aprecia distanța până la afloriment.

$$k = \frac{R}{r},$$

unde: R este raza de curbura maximă a fragmentului; r — raza de curbura minimă a fragmentului.

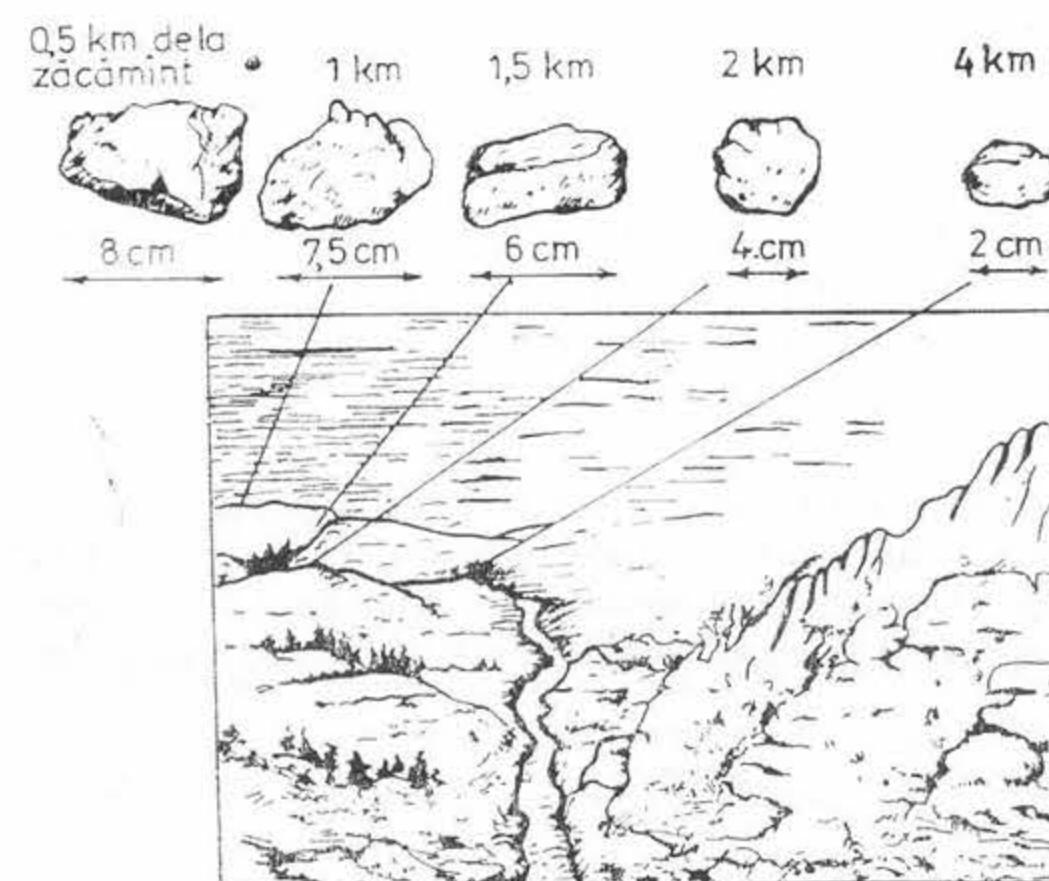
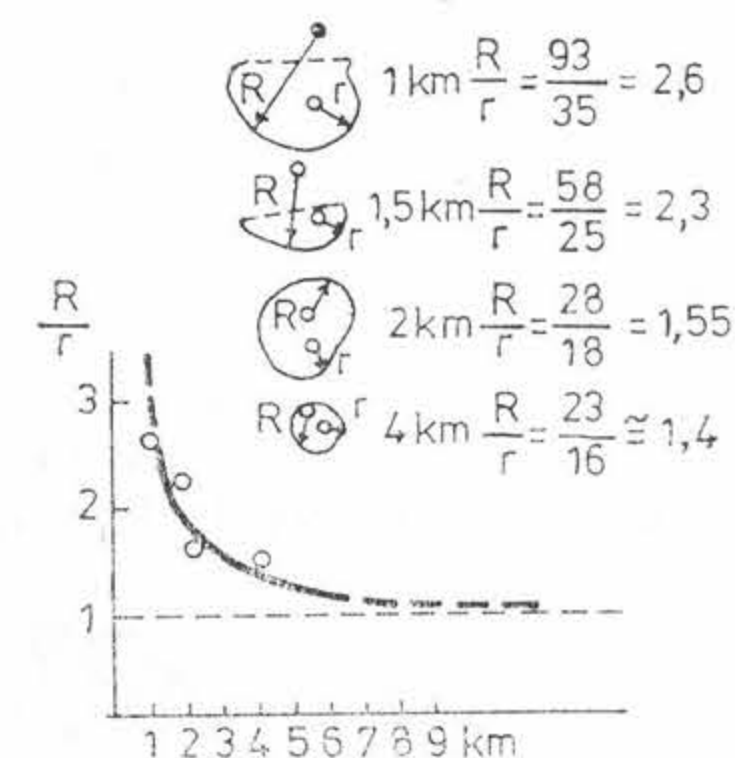


Fig. X.20. Aspectele fragmentelor de minereu transportate la diferite distanțe de afloriment.

Fig. X.21. Variația coeficientului de rotunjire (k)

Variația coeficientului de rotunjire, în funcție de distanța la care au fost transportate fragmentele de minereu, este redată ca exemplu în fig. X.21; se observă tendința fragmentelor de a deveni sferice, la distanțe mari de afloriment, când valoarea coeficientului se apropie de unitate.

— **Concentratele de minerale grele**, obținute prin prelucrarea probelor prelevate din aureolele de dispersie mecanică (aluviale, deluviale, eluviale), oferă două categorii de indicații: *directe*, prin mineralele metalice identificate în concentrat (aur, platină, magnetit, ilmenit, zircon, monazit, cromit, diamant etc.) și *indirecte*, pe baza mineralelor nemetalice, tipomorfe, determinate în concentrat (de exemplu beril, turmalină și topaz care pot indica mineralizații de staniu și wolfram).

— **Milurile din albia cursurilor de ape** pot fi indicatoare prin proprietatea lor de a reține unele elemente (Pb, Cu, Co etc.), prin sorbție sau schimb de ioni, mobilizate din corpurile de minereuri levigate. În componența milurilor apar și asociații de minerale secundare (malachit, ceruzit, psilomelan, minerale limonitice etc.), antrenate din zonele de oxidație ale zăcămintelor primare de către apele curgătoare; este o altă sursă de informații cu privire la existența unor mineralizații în regiune.

— **Izvoarele de ape minerale și chiar apele din cursurile râurilor** sînt indicatoare uneori prin conținutul ridicat în componenți metalici, ca urmare a levigării unor corpuri de minereuri sau a aureolelor de dispersie ale acestora. În general, se consideră

că conținuturile mai ridicate în anumite elemente, față de fondul hidrogeochimic, valorile mai scăzute ale pH-ului și valorile mai mari ale ionului sulfat în raport cu cele ale ionului de clor ar indica apropierea de zona mineralizată.

Informațiile indirecte sînt oferite de: metasomatitele din jurul corpurilor de minereuri; plantele indicatoare; aspectele patologice ale plantelor; unele forme de relief.

— **Aureolele de metasomatite din jurul corpurilor de minereuri** au o valoare deosebită pentru prospecțiunea geologică, ele constituind un indicator metalogenetic. Dintre metasomatitele cu rol indicator menționăm: skarne și periskarne, greisene, luxulianite, albitite și metasomatite cu feldspat potasic și biotit, cu care se asociază mineralizații pirometasomatice și hidrotermale de temperatură ridicată; metasomatite filice (cuarț + sericit), uneori cu aspectul lor particular de berezite, cuarțite secundare și jasperoide, metasomatite argilice, metasomatite cu clorit, metasomatite cu adular, metasomatite cu baritină, metasomatite cu alunite, listvenite și metasomatite carbonatice, însoțite de mineralizații hidrotermale de temperatură medie și scăzută. Unele produse metasomatice sau depuneri la nivelul fisurilor (ca de exemplu acelea legate de propilitizare, spilitizare, serpentinizare, zeolitizare) pot avea extinderi regionale și preced sau succed, ca moment de apariție, procesul de metalizare; ele nu constituie indicatori metalogenetici.

Primele metasomatite sînt surse de informații asupra existenței unor mineralizații în structura geologică prospectată, prin mineralele tipomorfe pe care le conțin (tabelul X.4). Distribuția zonală a variatelor tipuri de metasomatite, pentru care unele mineralizații manifestă anumite preferințe, completează elementele de informație în

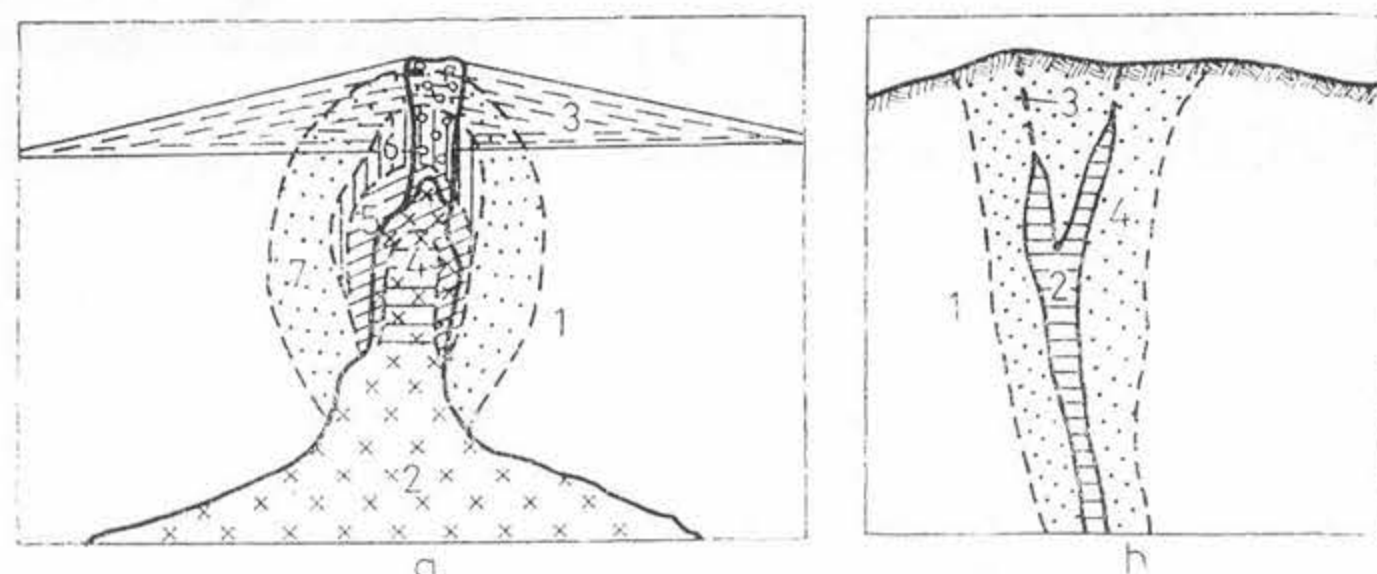


Fig. X.22. Distribuția zonală a metasomatitelor:

a — în cazul unor mineralizații de tip „porphyry”: 1 — formațiuni înconjurătoare; 2 — stoc de granodiorite porfirice; 3 — stratovulcan; 4 — metasomatite potasice (neoformațiuni de feldspat potasic și de biotit); 5 — metasomatite filice; 6 — metasomatite argilice; 7 — metasomatite propilitice (după Sillitoe, 1973, cu modificări);
b — în cazul unor mineralizații filoniene: 1 — formațiuni înconjurătoare propilitizate; 2 — filon; 3 — fractură în extinderea filonului, fără mineralizații; 4 — alterații hidrotermale filice, formate pe un fond de roci propilitizate.

acest sens; o astfel de imagine obținută prin studii de detaliu permite a realiza și prognoza modificărilor calitative pe verticală sau o dezvoltare în adâncime a unui anumit tip de mineralizație (fig. X.22).

— **Plante indicatoare** sînt acele plante a căror dezvoltare într-o anumită regiune este controlată de prezența unor mineralizații. Identificarea acestor plante constituie o primă indicație pentru recunoașterea zonelor mineralizate. Dintre plantele indica-

toare reținem: *Polycarpaea spirostylis* și *Melandrium dioicum* pentru cupru; *Viola calaminaria*, *Viola tricolor*, *Thlaspi calaminare*, *Tomanteria auriculata* pentru zinc; *Amorpha canescens* pentru plumb; *Equisetum arvense* pentru aur; *Astragalus pattersonii* pentru vanadiu și uraniu.

Tabelul X.4

Unii indicatori metalogenetici

Tipuri de metasomatite	Tipuri de mineralizații	Tipuri de metasomatite	Tipuri de mineralizații
1. Skarne	Fe, Sn, W, Mo, Bi, Pb, Zn, Cu, Au	5. Minerale tipomorfe din greisene:	
2. Minerale tipomorfe din skarne:		Topaz și turmalină	Sn
		Turmalină	Sn și sulfuri
		Fluorină	W
		Muscovit și fluorină	Mo
Andradit	Fe, Pb, Zn, Co	6. Metasomatite filice, metasomatite cu feldspat potasic și biotit	Cu (Mo, Au) tipul porphyry
Andradit-grosular	Cu, W		
Grosular	W		
Grosular și vezuvian	Mo, W	7. Berezite	Au
Wollastonit	Bi	8. Cuarțite secundare	Cu, Au-Ag în roci eruptive sau Au tip Carlin în asociație cu As, Sb, în roci carbonatice
Mn-hedenbergit	Pb, Zn, Cu		
Ludwigit, kotoit, asharit	B		
3. Greisene	Sn, W	9. Metasomatite cu baritină	Pb, Zn, baritină, witherit
4. Albitite	Zr, Nb, TR, Th	10. Jasperoide	Pb, Zn sau Sb, Hg
		11. Listvenite	Cu, Au

— **Aspectele patologice ale plantelor** (plante pitice, plante gigantice, dispariția vegetației, frecvența mare a unor specii de plante, modificarea culorii frunzelor etc.), determinate de prezența sau absența unor ioni în roci și în sol, reprezintă de asemenea elemente indicatoare pentru recunoașterea unor zone cu mineralizații. Astfel, dacă într-o regiune cu formațiuni identice și cu o vegetație specifică apar modificări vizibile în modul de dezvoltare a unor plante, acestea pot sugera existența unor concentrații de substanțe minerale utile în structura geologică prospectată, ca element perturbant de la aspectul normal.

— **Unele forme de relief** atrag atenția, prin modul lor de prezentare, asupra anumitor zone posibil purtătoare de mineralizații. Este cazul *formelor de relief pozitive* date de corpurile de minereuri cu rezistență mai mare la alterația supergenă decât rocile

înconjurătoare, ca, de exemplu, filoanele cuarțoase hidrotermale, filoanele de pegmatite, cuarțitele secundare, adesea mineralizate, cuarțitele cu magnetit (fig. X.23). În situații similare se află și *formele de relief negative* produse prin eroziunea mai avansată a unor corpuri de minereuri față de rocile înconjurătoare (fig. X.24) sau prin tasări,



Fig. X.23. Formă de relief pozitivă produsă prin eroziune.

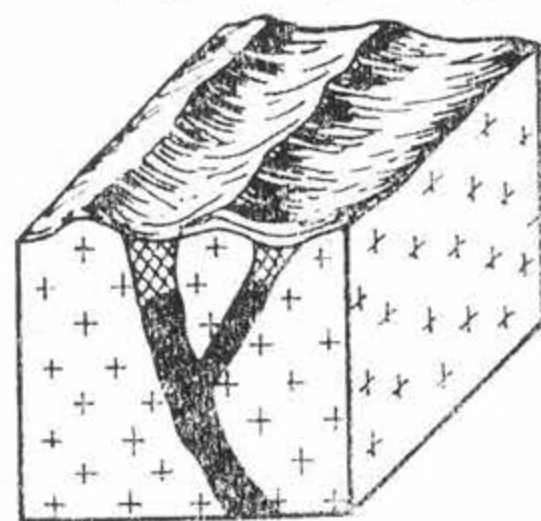


Fig. X.24. Formă de relief negativă produsă prin eroziune:

1 — granite; 2 — minereu oxidat; 3 — minereu primar.

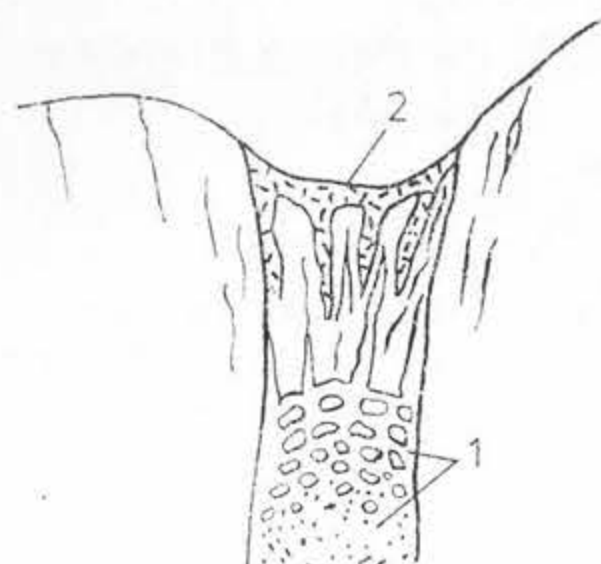


Fig. X.25. Formă de relief negativă produsă prin prăbușire locală:

1 — minereu oxidat în partea superioară a unui filon cu sulfuri nedeschis de eroziune; 2 — zona superioară rezultată prin prăbușire ca urmare a oxidării minereului.

chiar prăbușiri locale (fig. X.25), ca urmare a fenomenelor de oxidare a sulfurilor, ca și a existenței unor cavități subterane legate de procesul de dizolvare a rocilor carbonatice de către apele de circulație subterană.

1.2.2. INDICATORI PROVENIȚI DIN ALTE SURSE

Documentațiile geologice, muzeele geologice și populația localnică dau, asupra unei regiuni, informații privind activitatea geologică și minieră în trecut, unele ocurențe de mineralizații și gradul lor de cercetare. În acest sens, datele obținute prin astfel de surse sînt examinate pe teren, urmărind îndeaproape elementele care le pot oferi lucrările miniere vechi cu haldele lor, urmele de furnale și chiar semnificația denumirii unor localități, văi, dealuri și trecători, desigur, în strînsă corelație cu geologia regiunii.

Lucrările miniere vechi (șanțuri, puțuri, galerii) și haldele lor, existente pe diferitele planuri din documentațiile geologice, pot oferi o serie de informații asupra unor mineralizații cercetate în trecut într-o anumită regiune.

Astfel, din dispunerea în spațiu a lucrărilor de cercetare, corelată cu imaginea structurală a regiunii, se pot obține următoarele date asupra unui filon sau corp de minereu alungit: direcția și înclinarea (fig. X.26); dislocarea pe direcție prin inter-

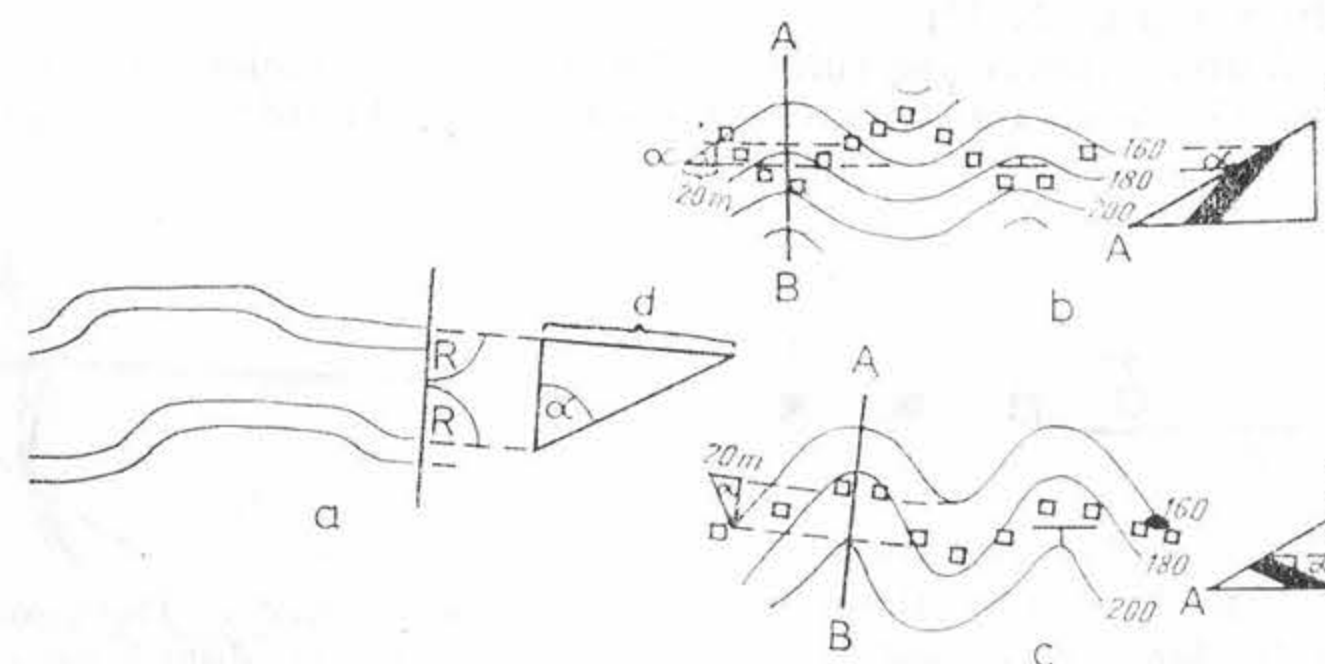


Fig. X.26. Determinarea direcției și înclinării unor filoane pe baza a două galerii săpate la nivele diferite (a) sau a unor aliniamente de puțuri orientate diferit în spațiu (b și c): d — distanțele verticale între cele două nivele de galerii; α — unghiul de înclinare al filonului.

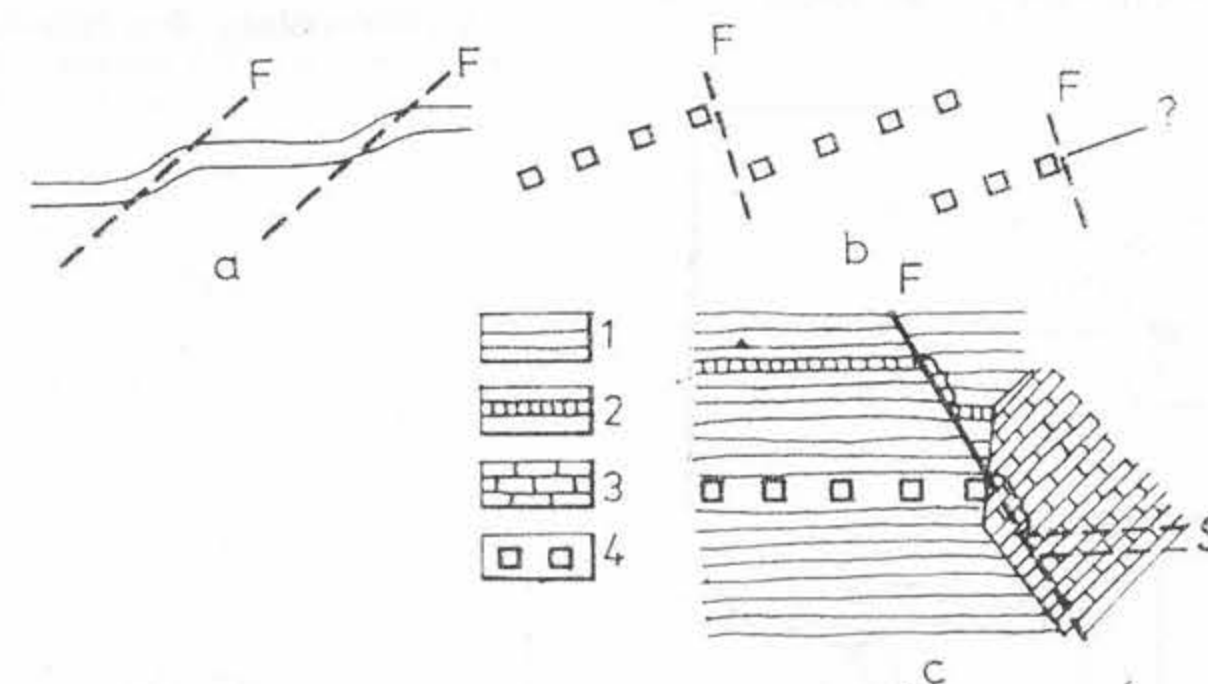


Fig. X.27. Identificarea unor falii urmărind modificarea direcției unor galerii (a) sau dispunerea în spațiu a unor linii de puțuri de cercetare (b și c): 1 — formațiuni cristalofiliene; 2 — amfibolite, nivel reper pentru identificarea faliei; 3 — formațiuni carbonatice mezozoice; 4 — puțuri dispuse pe aliniamente pentru cercetarea unui filon; S_f — segment de filon deplasat prin intermediul faliei și acoperit de rocile carbonatice; F — falie.

mediul unor falii (fig. X.27); existența unor porțiuni sterile pe direcția filonului sau corpului de minereu (fig. X.28); terminația prin ramificare sau dislocare pe o anumită porțiune, urmată de posibilitatea reapariției corpului de minereu (fig. X.29).

Din poziția haldelor și a gurilor de galerii, corelată cu aspectele morfologice ale regiunii și cu caracterele mineralogice ale fragmentelor de minereu și roci din halde,

rezultă informații asupra direcției și înclinării (fig. X.30) unui filon, dislocării acestuia de către o falie (fig. X.31) și existenței unei zone de oxidație (fig. X.32); se poate reconstitui necesitatea rocilor traversate de o galerie, ca și poziția mineralizației în coloana litologică (fig. X.33).

Raportul dintre profilul galeriilor și dimensiunile haldelor oferă indicații referitoare la grosimea zăcămintului: lucrările miniere cu profil mic și cu halde de dimen-

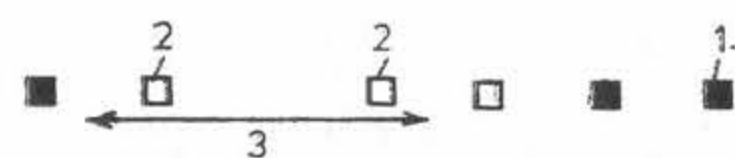
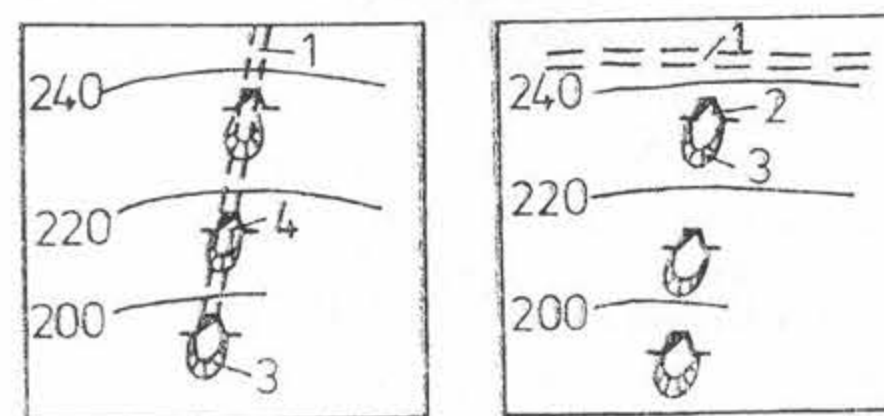
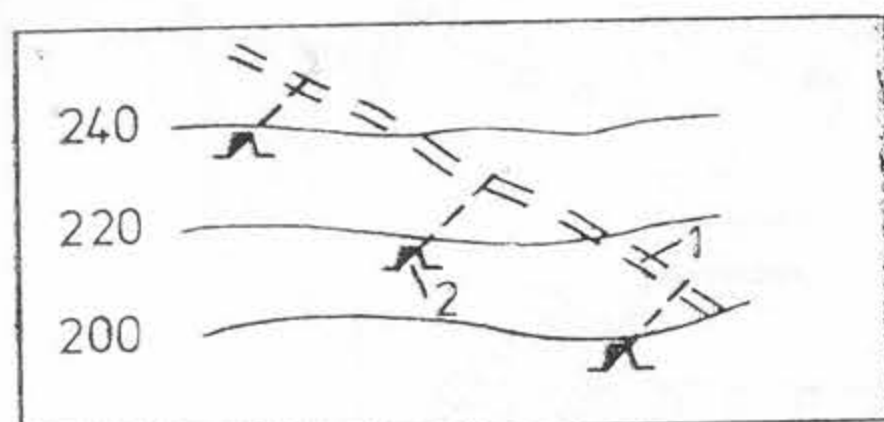


Fig. X.28. Identificarea unor porțiuni sterile pe direcțiile filonului urmărind dispunerea în spațiu a puțurilor de cercetare (după Kuzvarț și Böhmer, 1978, cu completări):

1 — puțuri care au interceptat corpul de minereu; 2 — puțuri care indică porțiuni sterile; 3 — extinderea zonei sterile.



a

b

Fig. X.30. Recunoașterea orientării unui filon urmărind poziția haldelor și galeriilor:

a — plan orizontal de suprafață cu amplasamentul galeriilor și direcția filonului; b — secțiune verticală în care se văd galeriile transversale și înclinarea filonului.

1 — filon; 2 — galerii transversale; 3 — haldă; 4 — galerii direcționale de coastă.

siuni mari, constituite în cea mai mare parte din steril, indică un zăcămint cu grosime redusă sau eventual un minereu cu un conținut scăzut, în componenți utili; lucrările

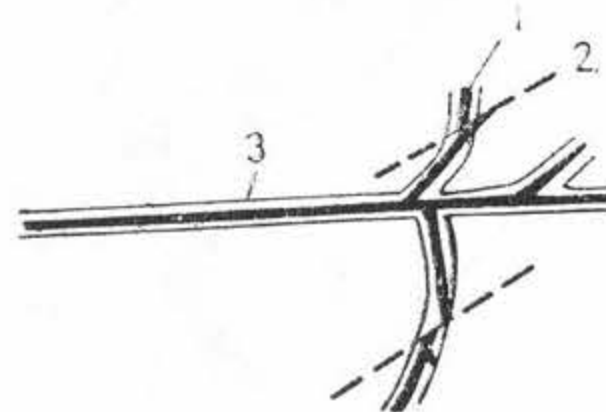


Fig. X.29. Recunoașterea unei terminații prin ramificare sau a unei dislocări cu caracter local a corpului de minereu, urmărind aspectul general al unei galerii:

1 — filon; 2 — falie; 3 — galerie.

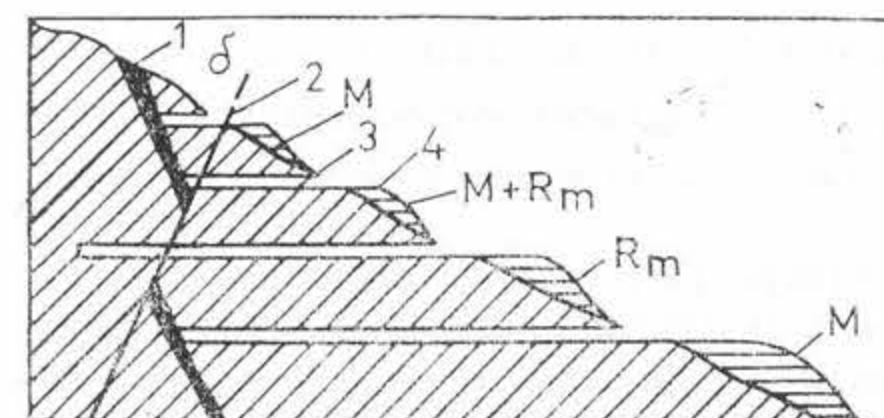


Fig. X.31. Recunoașterea unei falii care dislocă un filon, urmărind dispunerea fragmentelor de minereu și a rocilor milonitizate în halde (după Kuzvarț și Böhmer, 1978)

1 — filon; 2 — falie; 3 — galerie transversală; 4 — haldă cu fragmente de minereu (M) și roci milonitizate (R_m).

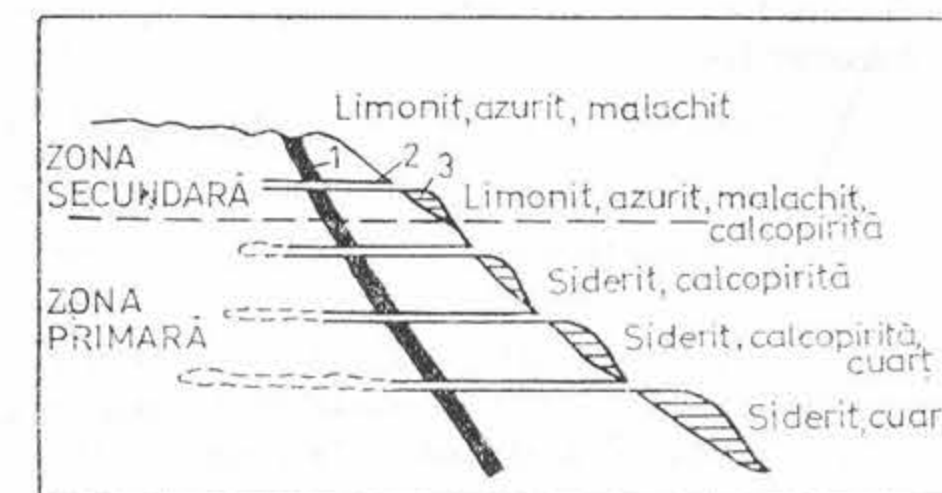


Fig. X.32. Recunoașterea unei zone de oxidație pe baza caracterelor mineralogice ale fragmentelor de minereu (după Kuzvarț și Böhmer, 1978):

1 — filon; 2 — galerie transversală; 3 — haldă cu fragmente de minereu.

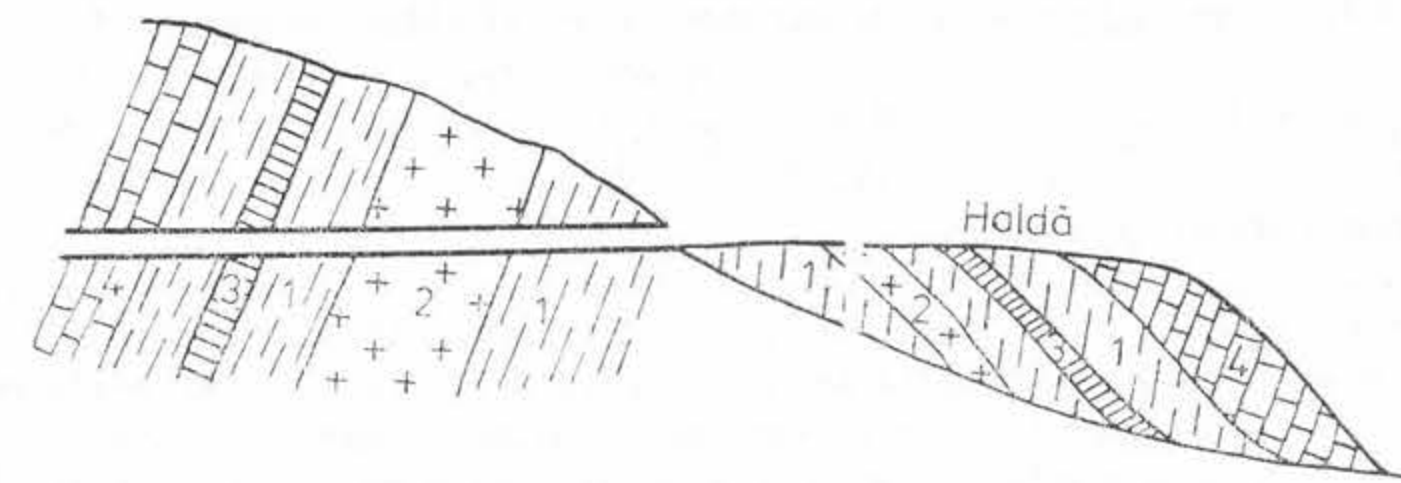


Fig. X.33. Reconstituirea succesiunii rocilor traversate de o galerie pe baza compoziției mineralogice a fragmentelor de minereu și roci din haldă:

1 — șisturi argiloase; 2 — andezite; 3 — minereu; 4 — roci carbonatice.

care au fost exploatate în trecut în regiune. Din compoziția mineralogică și chimică a zgurii rezultă concluzii privind caracterul mineralizației și modul de prelucrare a minereului.

Unele denumiri de localități, văi, dealuri și trecători sugerează fie existența unor exploatări vechi, fie anumite tipuri de substanțe minerale utile, cunoscute în trecut în regiunea care urmează a fi cercetată. Dintre aceste denumiri menționăm: Valea Fierului, Valea Roșie, Izvorul Băilor, Pîrîul Argintăriei, Băița, Baia, Băiut, Roșia. ș.a.

1.3. METODE GEOLOGICE DE PROSPECȚIUNE

Metodele geologice sînt utilizate în prospectarea resurselor de substanțe minerale utile aflate în variate condiții geologice, dar mai ales a acelor deschise de eroziune.

În funcție de natura observațiilor se pot distinge următoarele metode geologice de prospecțiune:

- prospecțiunea prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale;
- prospecțiunea prin cartare geologică pe baza fragmentelor cu minerale utile;
- prospecțiunea prin cartare geologică pe baza concentratelor de minerale grele.

Elementul comun al acestor metode de prospecțiune este cartarea geologică, prin intermediul căreia se elaborează harta geologică, instrument de bază pentru interpretarea geologică a datelor de prospecțiune și, sprijinită de studiile de laborator, pentru conturarea conceptelor necesare cunoașterii perspectivelor și evidențierii unor substanțe minerale utile în structura geologică prospectată.

1.3.1. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ ÎN DESCHIDERI NATURALE ȘI ARTIFICIALE

Lucrările de prospecțiune efectuate prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale (dezveliri, șanțuri, tranșee, puțuri de mînă etc.) au ca obiectiv principal descifrarea structurii geologice și, prin urmare, a condițiilor geologice favorabile unor concentrații de substanțe minerale utile. În acest scop, cartarea geologică se execută pe hărți topografice la scara 1:25 000—1:20 000 în prospecțiunea preliminară și la scara 1:10 000—1:1 000 în prospecțiunea de detaliu.

Efectuarea cartării geologice. În cartarea geologică se urmărește cu prioritate descifrarea structurii geologice prospectate și identificarea formațiunilor purtătoare de substanțe minerale utile. Pentru aceasta se examinează toate rocile întîlnite în deschiderile naturale și artificiale, stabilindu-se raporturile dintre ele, caracterelor petrografice și chimice, conținutul faunistic, poziția stratigrafică și în special acele particularități care le deosebesc sau le apropie unele de altele. Se cercetează amănunțit stratificația rocilor sedimentare și a rocilor slab metamorfozate (filită, șisturi sericitoase, șisturi cloritoase, cuarțite etc.), pseudostratificația intruziunilor bazice și ultrabazice, relațiile dintre planul de șistozitate și planul de stratificație la rocile epimetamorfice, poziția planului de curgere a lavelor, poziția și natura enclavelor din intruziune sau lave, poziția și caracterelor petrografice ale produselor piroclastice din complexe vulcanogene, ca și budinajul, clivajul, sistemele de fracturi și falii. În general, astfel de investigații sînt dublate de analize microstructurale și microtectonice, care oferă elemente suplimentare pentru descifrarea structurii geologice.

În paralel cu cartarea geologică se examinează cu atenție elementele care dau indicații directe sau indirecte asupra existenței unor concentrații de substanțe minerale utile (v. 1.2. Indicatorii în prospecțiunea geologică). De regulă, concentrațiile de minerale utile sînt localizate pe planele de foliație și de linație din corpurile eruptive, bazice și ultrabazice, pe planele de stratificație și de șistozitate ale rocilor sedimentare și metamorfice, pe variate sisteme de fracturi și la intersecția acestora, în rocile cu per-

meabilitate mare, cu rol de capcană, în care procesele de metasomatoză și de umplere a golurilor sînt active, în zonele de exfoliere a cutelor etc.

Datele cartografice bazate pe observațiile directe în deschideri naturale și artificiale, și completate cu studiile de laborator, se reprezintă prin diferite simboluri pe harta topografică, conducînd în final la *harta geologică*. Cercetarea mai multor deschideri și întocmirea *coloanelor stratigrafice* sau *secțiunilor tip*, ca anexe ale hărții geologice, oferă o imagine asupra succesiunii stratigrafice și asupra variațiilor laterale privind litologia, intensitatea mineralizației și grosimea formațiunilor prospectate. Corelarea între diferitele strate sau chiar formațiuni purtătoare de substanțe minerale utile se realizează pe baza caracterelor petrografice, fosilelor caracteristice și poziției față de un orizont reper dintr-o succesiune stratigrafică; în cazul cînd nu există alte elemente indicatoare, corelarea devine posibilă pe baza asociației de elemente minore sau pe baza datelor de cronometrie absolută.

Luarea probelor. În paralel cu cercetarea deschiderilor naturale și artificiale se prelevează probe mineralogice, petrografice și chimice, necesare investigațiilor de laborator în scopul fundamentării interpretărilor geologice de teren; este o operație integrată cartării geologice.

Probele mineralogice și petrografice se iau în așa fel, încît să cuprindă asociațiile caracteristice de minerale din rocă sau mineralizația respectivă. Obșnuit se recoltează o probă mai mică pentru o secțiune subțire sau lustruită și una mai mare, care reprezintă proba martor. Din rocile sedimentare se prelevează și probe pentru analize granulometrice și paleontologice.

Probele chimice se iau din roci, în vederea studiilor petrochimice, și din mineralizațiile identificate, pentru stabilirea conținutului în componenți utili, principali și accesorii. În acest din urmă caz se iau *probe informative* (cu bucata), *probe prin brazde* sau *probe prin răzuire*, în funcție de caracterelor texturale ale mineralizației (masiv, breccios, rubanat, impregnații, cuiburi, rețea de filonașe), de caracterul repartiției componentilor utili și extinderea zonei mineralizate.

Probele informative reprezintă bucăți de minereu sau de rocă cu minerale utile desprinse din diferite puncte ale aflorimentului sau deschiderii artificiale; greutatea acestora va fi de cîteva sute de grame. Probarea prin brazde constă din luarea unei cantități de material de-a lungul unui șanț orientat perpendicular pe zona mineralizată; lățimea șanțului va fi de circa 7 cm, iar adîncimea de 2—5 cm. Cantitatea de material prelevat se fărâmițează, se amestecă și apoi se reduce prin metoda sfertuirii; operația se repetă pînă cînd se obține o cantitate de cîteva sute de grame, necesară analizei de laborator. În probele luate prin răzuire intră întreg materialul detașat de pe suprafața mineralizată a deschiderii naturale sau artificiale; adîncimea de răzuire este de 3—5 cm, mai rar 10 cm, iar greutatea inițială a probei depinde de suprafața și adîncimea de răzuire.

Dacă probarea prin brazde se utilizează în cazul mineralizațiilor cu cele mai variate aspecte texturale și morfologice, ca și în cazul haldelor existente în regiunea prospectată, în schimb probarea prin răzuire se aplică la concentrațiile de substanțe minerale utile cu o repartiție foarte neuniformă a componentilor utili și la filonașele cu grosimi mai mici de 10 cm, indiferent de dispoziția lor în spațiu.

Întocmirea hărții geologice. Datele de teren conduc treptat la conturarea unităților cartografice (serii, complexe, orizonturi, corpuri eruptive etc.) și la trasarea limitelor dintre acestea pe harta topografică. Pe baza poziției stratificației, șistozității, linației și axelor de microcute sînt reprezentate elementele structurale ale regiunii (anticlinalele, sinclinalele, falii, linii de șariaj). Ocurențele de substanțe minerale utile

vor fi redade pe hartă și corelate cu elemente structurale și cu formațiunile înrudite genetic sau asociate spațial.

Probele prelevate sînt studiate în laborator sub aspect mineralogic (optic, roentgenografic, analiză termică diferențială, microscopie electronică, spectrografie, microsondă electronică, fluorescență în raze X), petrografic și chimic, în vederea definitivării hărții geologice și explicării genezei formațiunii purtătoare de concentrații de substanțe minerale utile și structurii geologice a regiunii. Conținutul în componenți utili se determină prin analiza chimică a probelor cu mineralizații.

Rezultatele obținute în urma elaborării hărții geologice, a întocmirii coloanelor stratigrafice, secțiunilor geologice, schițelor, bloc-diagramelor și, prin urmare, a interpretării datelor geologice constau în următoarele:

- identificarea unor concentrații de substanțe minerale utile;
- descifrarea structurilor geologice prospectate și aprecierea gradului de perspectivă a acestora privind existența unor substanțe minerale utile;
- conturarea zonelor în care urmează să se execute lucrări complexe de prospecțiune geologică, geofizică, geochimică și chiar geobotanică sau să se amplaseze lucrări miniere, uneori foraje, care să conducă la identificarea, în structurile geologice nedeschise de eroziune, a unor concentrații de substanțe minerale utile;
- interpretarea geologică a informațiilor obținute, prin utilizarea altor metode de prospecțiune.

1.3.2. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ PE BAZA FRAGMENTELOR CU MINERALE UTILE

Această metodă se bazează pe posibilitatea formării unor aureole de dispersie secundară ca urmare a acțiunii de dezagregare, transport și depunere la care sînt supuse zăcămintele de minereuri sau aureolele primare ale acestora.

În principiu, metoda constă în stabilirea frecvenței fragmentelor cu minerale utile din aureolele de dispersie mecanică (aluviale, deluviale, proluviale și glaciare) generate de corpurile de substanțe minerale utile, în scopul identificării și conturării zonelor în care apar zăcămintele *in situ*.

Cercetarea aluviunilor se realizează prin sfărîmarea cu ajutorul ciocanului a tuturor fragmentelor întîlnite și prin identificarea unor minerale utile (casiterit, cromit, magnetit etc.) sau a unor minerale indicatoare directe sau indirecte (beril, topaz, turmalină, ceruzit, anglezit etc.), privind existența în regiune a anumitor mineralizații.

După reperarea unor astfel de fragmente cu minerale utile se trece la stabilirea frecvenței acestora pe vale, în amonte și la conturarea aureolei dispersie mecanică. Dezvoltarea și persistența aureolelor aluviale depind de o serie de factori. Astfel, distanța de transport este direct proporțională cu viteza de curgere a apelor și înclinarea pantelor și invers proporțională cu dimensiunea materialului transportat și cu debitul apelor. În acest sens dimensiunile fragmentelor și gradul lor de rotunjire pot constitui o primă indicație asupra distanței pînă la afloriment, prin aceea că se consideră că zăcămintul se va găsi în zona în care acestea sînt mai colțuroase, mai mari și mai numeroase, adică în imediata apropiere a limitei superioare a aureolei mecanice.

În cazul unor depozite deluviale, proluviale și eluviale prospecțiunea preliminară se realizează în același mod ca și pentru aluviuni; după identificarea fragmentelor cu minerale utile, se trece la urmărirea frecvenței acestora pe pantă în sus de-a lungul unor alinamente cu echidistanță de 5–10 m, orientate perpendicular pe o direcție reper sau de bază.

Pe harta topografică se redau prin simboluri diferite, în punctele în care au fost găsite fragmentele respective, mărimea acestora și tipurile de minerale utile pe care le conțin. Pe baza acestor date se conturează aureola de dispersie mecanică.

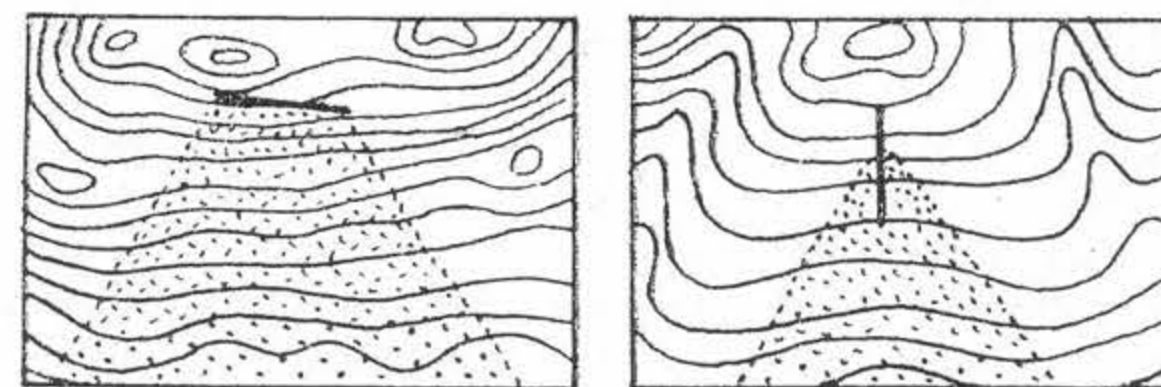


Fig. X.34. Forma aureolelor deluviale și proluviale:

Aureolele deluviale și proluviale au forme trapezoidale, triunghiulare sau liniare mai mult sau mai puțin continue și cu o dezvoltare asimetrică în raport cu poziția sursei care le-a generat (fig. X.34).

Aureolele eluviale se dezvoltă pe suprafețe restrinse și, în general, simetrice față de corpurile mineralizate.

În cercetarea depozitelor glaciare o atenție deosebită este acordată morenelor frontale, laterale și de fund, care reprezintă zonele cele mai favorabile pentru identificarea de fragmente cu minerale utile. Frecvența acestora se urmărește în lungul unor profile sau alinamente transversale pe direcția de deplasare a ghețarului, la intervale de 1–1,5 km.

Aureola glaciară delimitată pe harta topografică, pe baza punctelor în care s-au găsit blocuri cu minereu, prezintă, în general, forma unui evantai în al cărui vîrf se situează, de regulă, corpul de substanță minerală utilă.

În toate cazurile menționate, identificarea zăcămintelor în zonele indicate de prospecțiunea prin cartare geologică a fragmentelor cu minerale utile se va face prin executarea de dezveliri, șanțuri și puțuri. Amplasarea judicioasă a acestor lucrări impune efectuarea în prealabil, în aceste zone, a unei cercetări prin metode geofizice sau geochimice.

1.3.3. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ PE BAZA CONCENTRATELOR DE MINERALE GRELE

Această metodă de prospectare geologică are în vedere determinarea frecvenței mineralelor grele în cadrul aureolelor de dispersie mecanică sau a depozitelor detritice formate pe seama zăcămintelor sau a aureolelor primare ale acestora. Ea poate evidenția pe de o parte existența unor concentrații detritice, iar pe de altă parte zonele care constituie sursa generatoare.

Mineralele rezistente la alterare sînt transportate, îndeosebi de ape, la distanțe mai mari sau mai mici față de sursă, în funcție de greutatea specifică și de dimen-

siunea acestora, precum și de viteza agentului de transport. Dacă primele două elemente prezintă valori mai ridicate, acumularea mineralelor se va realiza în apropierea aflorimentelor din care au provenit prin dezagregare. În cazul în care aceste elemente au valori mai scăzute, depunerea mineralelor se va face mult mai departe de aflorimente, în zonele unde au loc modificări ale vitezei de curgere a apelor (confluențe, meandre etc.).

În stadiul prospecțiunii preliminare se urmărește identificarea principalelor zone cu astfel de aureole de dispersie mecanică și a unor indicații privind existența mineralizației. Totodată se examinează asociațiile de minerale indicatoare care, printre altele, pot contribui la elucidarea unor procese petrogenetice și metalogenetice, precum și a adâncimii optime de recoltare a probelor.

În stadiul prospecțiunii de detaliu se conturează cât mai exact aureolele mecanice, astfel încât să se poată trage concluzii cu privire la posibilitatea de valorificare a acestora și la localizarea zăcămintelor.

Operațiile indispensabile acestei metode de prospecțiune sînt: probarea, examinarea concentratelor de minerale grele și întocmirea hărților.

Luarea probelor. Una din condițiile importante ale acestei operații este ca punctele de probare să acopere în mod uniform suprafața prospectată. În cazul probelor cu caracter informativ, pentru depozitele aluviale, acestea se iau cu lopata, direct din albia râurilor sau din gropi săpate la adâncimi cât mai mari. În situația unei cercetări sistematice, probele se colectează din șanțuri, puțuri și prin intermediul forajelor manuale amplasate pe aliniamente orientate perpendicular pe cursul râului. Numărul de probe pe 100 km² variază în funcție de scara la care se face prospecțiunea (100–500 probe pentru 1: 50 000, 1 200–2 500 probe pentru 1: 10 000 etc.).

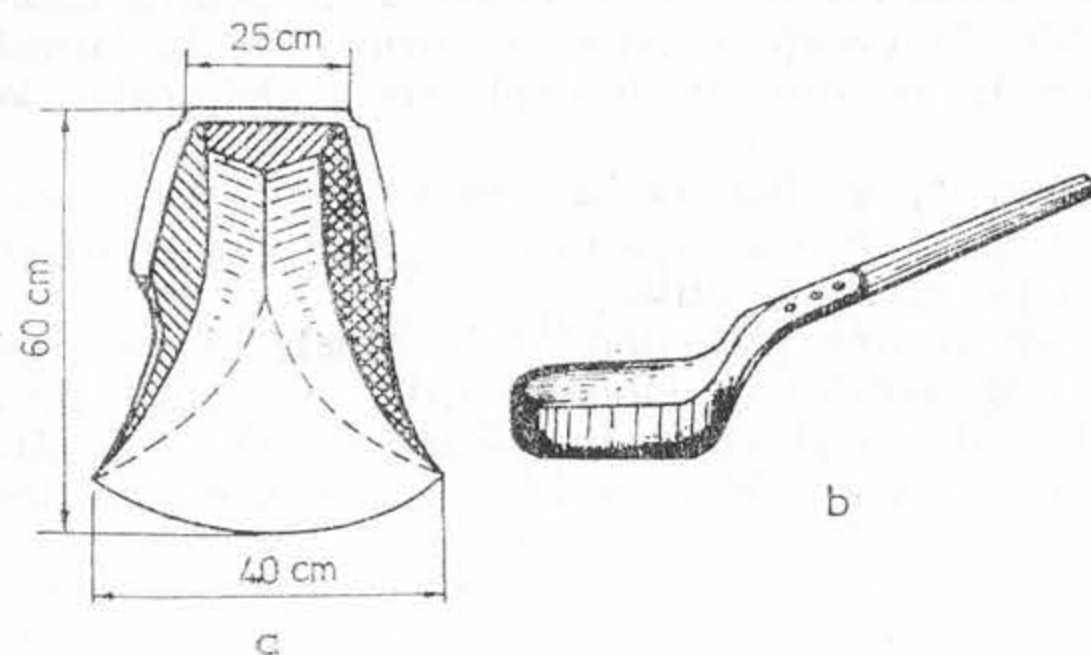


Fig. X.35. Șaitroc din lemn (a) și căuș de oțel (b).

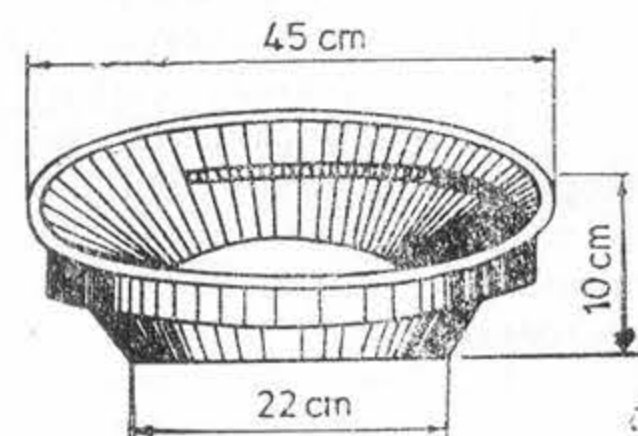


Fig. X.36. Troc Banka

Din depozitele deluviale, proluviale și eluviale, probele se colectează din gropi adânci de 30–50 cm, săpate la intervale de 25–50 m, pe aliniamentele distanțate la 100 m sau mai apropiate (10–20 m și respectiv 30–50 m), în cazul unor cercetări mai detaliate.

Probele prelevate se cîntăresc și apoi se spală cu ajutorul diferitelor tipuri de trocuri (șaitroc, căuș) cînd acestea nu depășesc greutatea de 2 kg (fig. X.35). Cantități mai

mari se pot spăla cu hurca, herdul sau trocul Banka (fig. X.36). Operația de spălare se execută în mai multe etape, pînă la obținerea concentratului de minerale grele în greutate de 10–15 g. În regiunile cu precipitații reduse se poate utiliza, pentru realizarea concentratelor de minerale grele, un curent de aer.

Examinarea concentratelor. Studiarea concentratelor de minerale grele se face în laboratoare, unde probele sînt supuse unei selecții pe fracțiuni, în vederea stabilirii naturii mineralelor grele, a frecvenței acestora și a sursei de proveniență.

Inițial probele sînt analizate informativ prin metode spectrale, radioactive și în imersie; urmează analiza granulometrică pe baza căreia se realizează diferitele fracțiuni de minerale ce vor fi supuse la separări magnetice, electromagnetice și cu ajutorul lichidelor grele. Fiecare fracțiune este examinată la binocular sau la microscop, pentru a stabili compoziția mineralogică, paragenzele și frecvența mineralelor utile.

Întocmirea hărților. Datele rezultate din studiile de laborator se reprezintă pe un plan topografic, la aceeași scară cu harta geologică, utilizînd metoda punctelor, metoda cercurilor sau metoda benzilor (fig. X.37).

În cazul primei metode locurile de probare sînt redată pe plan prin puncte, alături de care se trec inițialele mineralului util identificat; prin acest procedeu nu se pot obține informații referitoare la frecvența mineralelor utile (fig. X. 37, a).

În cazul celei de a doua metode, locurile de probare sînt marcate pe plan prin cercuri cu diametre proporționale cu greutatea concentratelor de minerale grele; suprafețele acestora sînt divizate în sectoare, în funcție de numărul și frecvența mineralelor utile (fig. X, 37, b).

Cea de a treia metodă presupune reprezentarea datelor sub forma unor benzi, lățimea acestora fiind direct proporțională cu frecvența mineralelor utile (fig. X. 37, c).

Ultimele două metode permit conturarea aureolelor de dispersie mecanică, pe baza cărora se pot delimita zonele de interes economic și localizarea surselor generatoare. În astfel de zone se execută dezveliri, șanțuri și puțuri. Pentru a spori eficiența acestor lucrări, amplasarea lor se va face după o prealabilă investigație geofizică și geochemică.

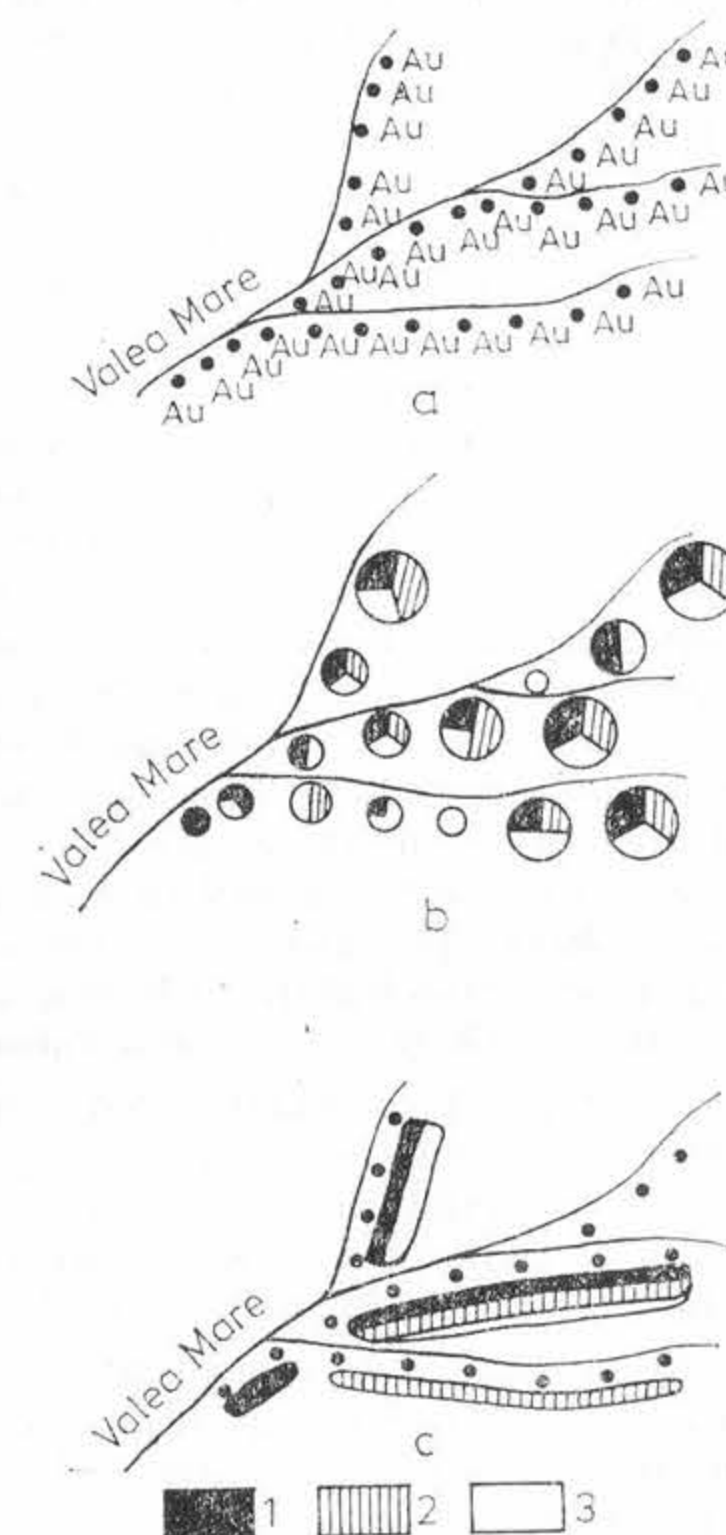


Fig. X.37. Reprezentarea datelor cartării geologice pe baza concentratelor de minerale grele :

a - metoda punctelor; b - metoda cercurilor; c - metoda benzilor; 1 - aur; 2 - casiterit; 3 - scheelit.

2. PROSPECȚIUNEA GEOFIZICĂ

În limbajul curent se identifică foarte frecvent activitatea geologică cu Geologia ca geștiință. Aceste două noțiuni nu trebuie însă confundate deoarece prima are o sferă mult mai largă de conținut.

Geologia reprezintă geștiința care pe baza studierii directe, nemijlocite, a rocilor și a raporturilor vizibile dintre formațiunile geologice, elaborează și stabilește ipoteze, concepte, teorii, regularități și legități cu privire la structura ascunsă a scoarței terestre, la evoluția acesteia în trecutul geologic, precum și la geneza, migrarea și acumularea în zăcămintele a materiilor prime minerale sau a purtătorilor de energie primară (combustibili fosili și hidrostructuri geotermale). Definitiv pentru geologie este așadar *informația directă*.

Acolo unde observația directă la suprafață nu este posibilă datorită faptului că structura geologică ce prezintă interes este mascată de formațiuni geologice sau de mase de roci cu raporturi de discordanță față de aceasta, intervin științele tehnice — forajul și minieritul — care oferă posibilitatea studierii geologice a probelor de roci aduse la suprafață prin carotajul mecanic al găurilor de sondă sau a observării directe în subteran a rocilor ori substanțelor minerale utile deschise prin lucrările miniere.

Pe măsură ce zăcămintele situate la adâncimi mici s-au epuizat sau sînt în curs de exploatare și a devenit necesară descoperirea celor situate la mari adâncimi, prin intrarea în incidența interesului a acumulărilor de substanțe utile din domeniul marin ca și în orice alte situații în care apar interdicții de o anumită natură care fac imposibilă observația geologică directă, devine necesară intervenția unei alte geștiințe și anume a Geofizicii. Caracteristic acestei geștiințe este *informația indirectă* asupra structurii geologice ascunse a subsolului și a bogățiilor minerale pe care ea le conține.

Această informație indirectă reprezintă de fapt un răspuns sau un mesaj de natură fizică a subsolului, ca rezultat fie a unui fenomen provocat de către geofizician în vederea studiului (introducerea unui curent electric în subsol, crearea unui câmp de unde elastice etc.), fie a unui fenomen natural cum este gravitatea, geomagnetismul, radioactivitatea terestră, câmpul geotermic etc.

Mijloacele de investigație, tehnicile de lucru și aparatura proprie cercetărilor geofizice s-au diversificat și rafinat continuu, așa încît astăzi aceste cercetări se pot efectua pe sol în orice regiune a Pămîntului, în mine și găuri de sondă, în aer, pe apă și pe fundul mării, cu alte cuvinte practic nu mai există condiții de lucru legate de relieful, clima sau învelișul Pămîntului care să fie restrictive, limitative sau ostile executării acestora.

Privind retrospectiv progresul de-a dreptul spectacular pe care l-a înregistrat această geștiință în ultimele cîteva decenii, apare clar că la acesta au contribuit schimbările care au avut loc în lumea contemporană dintre care vom menționa ca mai importante următoarele trei:

Prima este legată de problema asigurării continue cu materii prime minerale, combustibili și energie, problemă care se ridică cu atît mai acut cu cît modelul de civilizație și de progres economic adoptat de majoritatea omenirii presupune un consum din ce în ce mai mare de astfel de resurse. Așa dar, un prim impuls al progresului în acest domeniu a provenit din necesitatea de a satisface „foamea de metal” a omenirii, de găsire de soluții pentru a preîntîmpina o eventuală penurie de energie și alte aspecte cu care este confruntată societatea umană contemporană.

Cea de-a doua este reprezentată de intrarea omenirii în era spațială. Pînă atunci frontierele tradiționale ale geofizicii încorporau investigații la suprafața solului sau la adâncimi mici de ordinul pînă la cîteva mii de metri, iar dezvoltarea ei se referea în-deosebi la studierea unor întinderi din ce în ce mai mari ale Pămîntului și la intensificarea gradului de detaliere a studiilor întreprinse. Posibilitățile noi oferite de determinarea din sateliți a cîmpurilor fizice terestre, introducerea teledetecției ca și a altor procedee noi de cercetare au lărgit considerabil frontierele acestei activități, deplasînd răspunsurile referitoare la structurile ascunse ale subsolului la cu totul alte nivele de profunzime decît cel devenit clasic, îmbogățind și diversificînd în ultimă instanță natura și conținutul geologic al informațiilor geofizice. În același timp, evoluția Geofizicii către Planetofizică din necesitatea determinării cîmpurilor de atracție, magnetic și radioactiv, seismicitatea și alte fenomene fizice, mai întîi a Lunii și apoi a unor planete, a dus la realizări sau adaptări de aparatură de măsurare cu performanțe din ce în ce mai ridicate; din această circulație în dublu sens, prospecțiunea geofizică a avut de cîștigat nu numai în ceea ce privește aparatura de măsurare și tehnica de lucru ci și din punctul de vedere al prelucrării și interpretării mărimilor măsurate.

În fine, o mare influență asupra activității geofizice a avut-o impactul calculului electronic. Acesta s-a manifestat, în condițiile perfecționării continue a calculatoarelor electronice, în sofisticarea aparaturii de măsurare din punctul de vedere al principiilor pe care se bazează obținerea informațiilor referitoare la structurile geologice și la acumulările de substanțe minerale utile, ca și al sistemelor de înregistrare și redare a acestor informații, al calibrării, etalonării și depanării unor astfel de echipamente, precum și în posibilitatea prelucrării unor volume mari de date la un nivel fizico-matematic net superior.

Ca urmare, schimbările survenite în domeniul acumulării, transmiterii și difuzării informațiilor geofizice, ca și gradul tot mai ridicat de rafinament al datelor, din punctul de vedere al obținerii precum și din acela al prelucrării și interpretării lor au contribuit la accelerarea ritmului cercetării geofizice și la lărgirea frontierelor problematice geologice privind baza de materii prime minerale și de surse de energie.

Cunoașterea aprofundată a metodelor de prospecțiune geofizică, folosirea adecvată a acestora și interpretarea corectă a informațiilor obținute reprezintă în fapt cele trei laturi inseparabile și care se condiționează reciproc pentru rezolvarea complexelor probleme ce se pun prospecțiunii, determinarea formelor structurale ale rocilor și a condițiilor favorabile de acumulare a substanțelor minerale utile în zăcămintele, integrarea acestora în ansamblul și caracteristicile structurii geologice regionale și locale și, în ultimă instanță, creșterea eficienței economice a activității de prospectare a subsolului.

După cum este cunoscut (Gavăț et al., 1973), interpretarea geologică a informației geofizice urmărește să clarifice problemele de legătură dintre rezultatele prospecțiunilor geofizice și geologice, în scopul descifrării pe cale indirectă a structurii geologice ascunse a subsolului și a îmbogățirii gradului de cunoaștere geologică a acestuia. Întreaga experiență acumulată în cei peste 60 de ani de activitate geofizică românească de către toate generațiile de ingineri geofizicieni a contribuit la adîncirea, diversificarea și rafinarea interpretării geologice a informației geofizice, făcînd din aceasta un domeniu de tradiție în țara noastră.

Privit prin prisma teoriei comunicației, procesul de interpretare geologică a informației geofizice dezvăluie unele aspecte, conținuturi și semnificații noi, atît teoretice cît și practice, asupra cărora ne vom referi pe scurt în cele ce urmează.

Considerată la un nivel de largă generalitate, prospecțiunea geofizică poate fi definită ca activitatea de obținere la suprafața solului, a apei sau în aer a unor sem-

nale — naturale sau provocate așa cum a fost precizat mai înainte — cu o semnificație fizică net diferită și care poartă în ele informații de la structura geologică ascunsă a subsolului, prelucrarea acestor semnale și interpretarea lor în termeni geologici. Sub aspect fizic, nici o apropiere nu se poate face între natura acestor semnale utilizate în diferitele metode geofizice. Într-adevăr, cum am putea găsi o cât de mică asemănare între, să zicem, cîmpul electric generat prin polarizație naturală de un zăcămint de sulfuri polimetalice și vibrația solului creată de sosirea la suprafață a unei unde elastice reflectată de un strat de cărbune din subsol, între oricare din acestea două și intensitatea radiației naturale produsă de o mineralizație de elemente rare și disperse ș.a.m.d.

Și totuși, dacă analizăm cu atenție ceea ce de fapt reprezintă prospecțiunea geofizică constatăm că astfel de semnale, indiferent de fenomenul fizic care le provoacă, satisfac o relație unică pe care putem să o numim *ecuația generală a prospecțiunii geofizice* și care poate fi exprimată analitic ca

$$S(x, y, z, t) = I(x, y, z, t) * G(x, y, z, t) + Z(x, y, z, t).$$

În această relație:

$S(x, y, z, t)$ reprezintă semnalul geofizic recepționat la suprafața solului terestru sau a mării și care în cazul prospecțiunilor aerogeofizice efectuate la un plafon de zbor z devine $S(x, y, -z, t)$;

$I(x, y, z, t)$ este informația geofizică generată de obiectul geologic de prospectat — formă structurală sau acumulare de substanțe minerale utile — și a cărei definiție o vom face mai departe;

$G(x, y, z, t)$ este o funcție care depinde de caracteristicile mediului geologic prin care se propagă informația geofizică, cum sînt de exemplu reflectivitatea, transmisivitatea, atenuarea, absorbția, ecranarea, semnale adiționale provenite de la alte obiecte geologice învecinate sau de la elemente geomorfologice de suprafață și altele;

$Z(x, y, z, t)$ definește zgomotul, considerat în general ca avînd un caracter aleator, dar care în realitate nu întotdeauna are această caracteristică.

În relația de mai sus, x, y și z simbolizează variabilele spațiale într-un sistem cartezian de coordonate, iar t variabila temporală.

În acord cu această relație, semnalul geofizic de care ia act geofizicianul la efectuarea măsurărilor reprezintă convoluarea informației geofizice pe care caută să o determine cu o funcție de transfer care depinde de mediul geologic și la care se adaugă un zgomot inerent oricărui proces de comunicație. Particularizarea acestei ecuații generale la oricare din metodele, tehnicile sau variantele de prospecțiune geofizică, se poate face fără dificultăți.

Rezultă, din cele de mai sus, că problema fundamentală a prospecțiunii geofizice este de fapt aceea de a determina cit mai exact pe $I(x, y, z, t)$, respectiv informația geofizică, cunoscînd semnalul geofizic determinat experimental $S(x, y, z, t)$ sau $S(x, y, -z, t)$ și evaluînd sau aproximînd funcțiile $G(x, y, z, t)$ și $Z(x, y, z, t)$. Cu alte cuvinte, problema fundamentală a prospecțiunii geofizice este de a stabili cantitativ informația geofizică provenită de la obiectul geologic de prospectat; odată determinată aceasta, și numai în condițiile unui grad de încredere foarte ridicat asupra realității ei, se poate trece la interpretarea geologică a informației geofizice.

Să vedem acum ce semnificație poate avea noțiunea de informație geofizică.

Termenul de *informație*, folosit adesea în limbajul curent cu sensuri diferite (știre, veste, noutate, anchetă, anunț, confidență etc.), reprezintă de fapt o noțiune de largă

generalitate. Ca și alte noțiuni de același fel, ea nu se poate defini sau, în orice caz, nu acceptă o definiție simplă din cauza sensurilor diferite în care este utilizată. Ea poate căpăta însă un sens dacă îi asociem și domeniul la care se referă, de exemplu informație istorică, informație economică etc. sau, în cazul nostru, informație geofizică; analizînd însă cu atenție această problemă ajungem la concluzia că nu există o altă atitudine posibilă decît o alegere „a priori” a definiției pentru această noțiune. Stabilesc așadar prin convenție că *informația geofizică reprezintă suportul material al mesajelor fizice și geologice raportabile la structura geologică ascunsă a subsolului și la acumulările de substanțe minerale utile pe care aceasta le conține.*

Adoptînd această definiție, cu semnificație de suport material al unor răspunsuri sau mesaje care provin de la obiectele geologice din subsol, reiese clar că înțelegem prin informație geofizică orice reprezentare concretizată în profile, hărți, secțiuni, diagrame, histogramme și alte tipuri de grafice folosite în prospecțiunea geofizică. În această formă, și numai în aceasta, informația geofizică poate fi interpretată în termeni geologici, cu alte cuvinte i se poate descifra și înțelege mesajul pe care îl poartă de la structura geologică ascunsă a subsolului.

2.1. POSIBILITĂȚI ȘI LIMITĂRI FIZICE, GEOLOGICE ȘI ECONOMICE ALE UTILIZĂRII PROSPECȚIUNILOR GEOFIZICE

„Mineritul și metalurgia s-au născut împreună deoarece amîndouă au comune o serie de domenii reprezentate fie de discipline fundamentale, fie de discipline ajutătoare” scria Kögler (1929) în prefața la prima ediție a binecunoscutului manual practic de minierit apărut sub coordonarea sa.

Chiar dacă nu se poate spune același lucru despre industria minieră și geostiințele aplicate — geologia și, mai recent, geofizica — este clar că între acestea există multe discipline comune și, mai ales, puternice relații de interdependență. Pe de o parte, dezvoltarea industriei miniere se bazează pe progresul ce se realizează în aceste geostiințe; aceasta privește posibilitățile de detectare a acumulărilor de diferite substanțe minerale utile care nu-și trădează prezența lor în adîncime prin manifestări sau indicii de suprafață, explorarea acestora pînă la atingerea unui grad de cunoaștere care să asigure confirmarea de rezerve în bilanț pe care să se poată fundamenta investițiile, stabilirea tehnologiilor de extracție și de preparare pentru recuperarea cit mai completă a componentilor utili etc.

În acest proces complex de atragere în circuitul economic a noi zăcămint de substanțe minerale utile sau de purtători de energie primară, activitățile geologice, geofizice și minieră se împletesc în mod armonios și se sprijină reciproc.

Pe de altă parte, geologia și geofizica sînt beneficiare ale activității miniere deoarece pe măsură ce avansează exploatarea zăcămintelor crește și gradul de cunoaștere geologică a acestora, se confruntă și se verifică ipotezele și modelele elaborate în faza de prospecțiune și îmbunătățite în cea de explorare. Mai mult decît atît, se rezolvă această situație paradoxală a cunoașterii geologice și anume că un zăcămint devine cu adevărat cunoscut în toată complexitatea lui — formă exactă, dimensiuni, gradul de mineralizare și variațiile acestuia, distribuția elementelor însoțitoare și tipul lor, relațiile cu rocile care îl găzduiesc etc. — în momentul în care exploatarea lui s-a încheiat, deci a ieșit din incidența interesului economic. Aceasta nu înseamnă însă

că interesul lui scade pentru geologie; din contra, abia cînd această cunoaștere este asigurată se pot stabili cu adevărat legitățile de geneză și acumulare a mineralizației în condițiile concret specifice ale structurii geologice regionale și locale, se pot stabili condiționările fizico-geologice care au determinat reflectări ale acestuia de o anumită natură și de un anumit tip în mărimile fizice care au reprezentat informațiile indirecte etc. Toate acestea duc la progresul geostiintelor, la îmbunătățirea metodelor și tehnicilor de lucru ce vor fi aplicate în condiții fizico-geologice și de geneză asemănătoare, ceea ce va avea ca efect final creșterea eficienței activității de prospectare a subsolului. Iată de ce, acest schimb de informații în dublu sens, dintre industria minieră și geostiintă, nu numai că este în beneficiul reciproc al acestora dar creează și interdependența dintre ele la care ne-am referit mai sus.

Acestea sînt principalele elemente obiective care stau la baza cooperării dintre minieră și geostiintă în general și, prospecțiunea geofizică, în particular. Și, ca în orice domeniu de cooperare, cu cît aceasta este mai adîncită, cu cît aportul părților este mai bogat în conținut și mai mare cantitativ, cu atît și rezultatele acesteia vor fi mai importante în beneficiul ambelor părți. De aceea, cunoașterea și înțelegerea de către inginerul de mine a posibilităților și limitărilor metodelor geofizice, a naturii problemelor geologice pe care ele le pot rezolva ca și a tipului și semnificației informațiilor pe care acestea le pot furniza, cunoașterea de pe pozițiile beneficiarului unor astfel de lucrări, nu poate fi decît în interesul industriei miniere și, în ultimă instanță, a economiei noastre naționale.

Pămîntul românesc oferă o mare complexitate și diversitate a alcătuirii sale geologice, ca și a bogățiilor minerale pe care le conține subsolul acestuia. Aceste aspecte sînt tratate în ceea ce au ele esențial, ca și cu amănuntele semnificative, în alte părți ale prezentului manual. Nu putem însă să trecem cu vederea aspecte cum sînt complexitatea structurii geologice, tipurile și formele de zăcămint pe care le îmbracă acumulările de substanțe metalifere și nemetalifere, dimensiunile zăcămintelor, natura paragenazelor minerale în zăcămintele, relațiile acestora cu structurile magmatice sau metamorfice și uneori chiar sedimentare care le găzduiesc etc., ca și gradul de încarbonificare, grosimea și continuitatea sau lipsa acesteia la stratele de cărbuni, relațiile lor cu formele structurale ale formațiunilor sedimentare în care s-au format, gradul de tectonizare al acestora pe care l-au suportat în trecutul geologic și natura formelor tectonice actuale etc., deoarece toate acestea se reflectă într-un mod specific în informațiile geofizice.

Aplicabilitatea metodelor geofizice în procesul prospectării diferitelor tipuri de substanțe minerale utile și de forme de zăcămint sub care acestea se găsesc asociate structurii geologice ascunse este controlată de o serie de condiționări fizice, geologice și economice asupra cărora ne vom opri pe scurt atenția în cele ce urmează. Aceste condiționări, denumite și *parametri-cheie* în limbajul curent al geofizicienilor, sînt principalele elemente care definesc și conturează posibilitățile și limitările aplicabilității eficiente a acestor metode.

Ceea ce este caracteristic și definitoriu diferitelor metode de prospecțiune geofizică este că fiecare din ele pune în evidență o latură anumită în care se reflectă structura geologică prospectată prin metoda respectivă; or, această latură specifică este direct condiționată de factorii fizici și geologici care asigură aplicabilitatea ei. Acești factori sînt trecuți în revistă în cele ce urmează.

Contrastul de proprietăți fizice. Acesta este unul dintre factorii fizico-geologici care este comun tuturor metodelor de prospecțiune geofizică. Nici una dintre aceste metode nu este aplicabilă dacă obiectul geologic de prospectat — fie zăcămint, fie structură geologică de care să fie asociată o anumită substanță minerală utilă — nu reali-

zează un contrast de proprietăți fizice față de restul rocilor care se găsesc lateral, deasupra și dedesubtul lui.

Un astfel de contrast este *contrastul de masă magnetică*. Proprietatea fizică în măsură să diferențieze diferitele tipuri de roci sau de substanțe minerale utile din natură este susceptibilitatea magnetică a acestora și se exprimă în unități specifice de susceptibilitate (10^{-6} uCGS). În esență, proprietățile magnetice ale fiecărui element chimic sînt definite de momentul magnetic al atomului acestuia. Cu mici excepții, elementele chimice nu se găsesc pure în natură ci sub formă de combinații ca oxizi, sulfuri, carbonați, silcați etc., iar forma de prezentare a lor este aceea de molecule. Organizarea atomilor poate fi în rețea cristalină sau sub aspect amorf. Din cele de mai sus reiese că momentul magnetic al atomului nu este definitoriu pentru proprietățile magnetice ale mineralelor. Un exemplu în acest sens este edificator. Hematitul are susceptibilitate magnetică ridicată, de ordinul $1000-80000 \cdot 10^{-6}$ uCGS, în timp ce magnetitul care are aceeași formulă chimică este practic lipsit de proprietăți magnetice din cauza unei organizări interne diferite a atomilor în rețeaua cristalină și care are ca efect anihilarea reciprocă a momentelor magnetice ale atomilor.

Mineralul cu cea mai ridicată valoare a susceptibilității magnetice și net diferită ca nivel de a tuturor celorlalte, de ordinul $10000-4400000 \cdot 10^{-6}$ uCGS, este magnetitul. Acesta prezintă și marele avantaj că este foarte răspîndit în natură, fiind prezent — în conținuturi foarte diferite — practic în toate tipurile de roci (sedimentare, metamorfice și magmatice), precum și în marea majoritate a paragenazelor de minerale metalifere.

Datorită acestei situații, pentru înțelegerea și explicarea comportării magnetice a structurii geologice în prospecțiunea geofizică s-a emis ipoteza simplificatoare că *susceptibilitatea magnetică este direct proporțională cu conținutul rocilor în magnetit*. Cu tot caracterul ei simplificator, această ipoteză s-a dovedit pe deplin satisfăcătoare în marea majoritate a cazurilor practice.

În realitate, proprietățile magnetice ale oricărei substanțe din natură nu pot fi definite complet decît prin intensitatea de magnetizare a acesteia, care este o mărime vectorială și nu scalară ca susceptibilitatea magnetică. *Intensitatea de magnetizare a unei roci reprezintă momentul magnetic al unității de volum și fiind o mărime dirijată în spațiu trebuie cunoscută — ca orice vector — prin intensitate, direcție, sens și poziția punctului de aplicație, ceea ce nu este cîtuși de puțin un lucru simplu.* Legătura dintre intensitatea de magnetizare și susceptibilitatea magnetică este dată de faptul că mărimea acesteia este proporțională cu susceptibilitatea, respectiv cu capacitatea de magnetizare a substanței respective.

Considerate după intensitatea lor de magnetizare, rocile din natură pot să posede o magnetizare indusă, cîștigată datorită cîmpului geomagnetic în timpul formării lor, sau una remanentă (naturală) care le este proprie la formarea lor sau a fost influențată datorită proceselor chimice și termice care au avut loc în trecutul lor geologic. De fapt, pentru orice rocă sau acumulare de substanțe minerale utile, intensitatea de magnetizare reprezintă suma, evident vectorială, a celor două tipuri de magnetizări, respectiv remanentă și indusă; numai că la rocile slab magnetizate, cum sînt cele sedimentare, metamorfice și unele roci magmatice, mai ales acide, predomină componenta indusă, iar cea remanentă este practic neglijabilă, în timp ce la zăcămintele de fier — îndeosebi cele de oxizi — precum și la unele roci magmatice bazice și ultrabazice, predominantă este componenta remanentă.

Dat fiind faptul că vectorii magnetizare în masa unei roci sau zăcămint pot avea intensități mari, definind deci o susceptibilitate magnetică echivalentă cu valoare ridicată, însă orientări diferite în spațiu, acestea pot să nu se manifeste ca niște cor-

puri magnetice când orientarea vectorilor este difuză sau ca avînd o magnetizare inversă când vectorii magnetizare au o orientare preferențială paralelă ori diferită de aceea a cîmpului geomagnetic, însă au sens invers cu al acestuia.

În cazul în care avem de-a face cu magnetizări remanente, interpretarea rezultatelor prospecțiunii geofizice se complică dar nu este irezolvabilă.

Proprietățile magnetice, fie că sînt definite prin susceptibilitatea magnetică, fie prin intensitatea de magnetizare, variază în domenii mari în cadrul oricărei structuri geologice de la un tip de rocă la altul care intră în componența ei și chiar în cuprinsul aceluiași tip de rocă, cum este cazul rocilor magmatice și al zăcămintelor metalifere. De aceea, aplicabilitatea prospecțiunii geofizice este condiționată de fapt nu de contrastul sau de contrastele de proprietăți magnetice; astfel de contraste devin interesante numai dacă rocile care se diferențiază după această proprietate ocupă volume importante în subsol, deoarece numai în acest caz se realizează contraste de masă magnetică suficient de mari în valoare pentru a genera anomalii magnetice cartabile. Din cele arătate mai sus reiese clar că, de fapt, *contrastul de masă magnetică* — factor fizico-geologic care condiționează aplicabilitatea uneia dintre metodele geofizice — reprezintă produsul dintre contrastul de proprietăți magnetice și volumul ocupat de corpul geologic în subsol. Latura corpului geologic prospectat care se reflectă în această metodă de prospecțiune geofizică este deci contrastul de masă magnetică.

Un alt tip de contrast de proprietăți fizice este contrastul de „masă materială” sau, mai simplu, *contrast de masă*.

Rocile și acumulările de substanțe minerale utile se diferențiază și după densitatea lor, respectiv după masa unității de volum a acestora exprimată în g/cm³. În principal, valoarea densității depinde de compoziția minerală, cu alte cuvinte de tipurile de minerale și de procentul cu care acestea intră în alcătuirea unui corp geologic.

Ca și proprietățile magnetice, densitatea variază în limite destul de largi în cuprinsul oricărei structuri geologice, de la un tip de rocă la altul și chiar în cadrul aceluiași tip de rocă. Un exemplu grăitor în acest sens îl reprezintă variația densității în cuprinsul corpurilor masive constituite din vulcanite neogene în funcție de gradul diferit de alterare hidrotermală a acestora, îndeosebi când procesele de autometamorfism hidrotermal au acționat în sensul caolinizării.

Variațiile de densitate legate de structura geologică ascunsă nu devin interesante pentru prospecțiunea geofizică decît atunci cînd obiectele geologice care prezintă un astfel de contrast ocupă volume importante în subsol. Numai în aceste cazuri se realizează contraste de masă capabile să genereze anomalii gravimetrice cartabile. Latura specifică a corpului geologic prospectat pe această cale geofizică va fi de această dată contrastul de masă, cu semnificație de produs între contrastul de densitate și volumul ocupat de corpul geologic respectiv.

Următorul tip de contrast de proprietăți fizice asupra căruia ne vom opri atenția este *contrastul de proprietăți electrice*.

Propagarea curentului electric printr-un mediu oarecare este condiționată de conductibilitatea electrică specifică a acestuia, cu alte cuvinte de capacitatea pe care o are mediul respectiv de a lăsa să treacă un curent electric prin el.

Cu mici excepții, cum este de pildă cazul mineralizațiilor metalifere masive, marea majoritate a rocilor și a acumulărilor de substanțe minerale utile se prezintă din punct de vedere electric ca niște medii eterogene cu comportament diferențiat. Fiind de fapt agregate minerale, ele reprezintă un amestec variabil de trei medii electrice diferite și anume:

— minerale metalifere, îndeosebi oxizii și sulfurile, caracterizate prin valori mari ale conductibilității electronice și prin care propagarea curentului electric se face datorită deplasării libere a electronilor în interiorul lor;

— apa, care intră în constituția oricărei roci fie ca apă legată, fie ca soluții mineralizate care umplu spațiul liber dintre minerale și care este caracterizată prin valori relativ scăzute ale conductibilității ionice. În acest caz, propagarea curentului electric se face prin deplasarea liberă a ionilor în soluție;

— minerale slab conductoare electric, practic cu un comportament de dielectrice, cum sînt cuarțul, calcitul, feldspatii etc. Astfel de minerale opun o rezistență foarte mare la trecerea curentului electric prin ele sau chiar nu permit propagarea acestuia. Cînd astfel de minerale constituie acumulări masive, ca de exemplu corpuri de cuarțit, de baritină etc., ele se comportă foarte rezistiv din punct de vedere electric. Prezența lor în rocile comune metamorfice, magmatice sau sedimentare, ca și în mineralizațiile obișnuite, asociată mineralelor metalifere și apei, fac rocile respective mai puțin restrictive propagării curentului electric. În acest caz avem de-a face cu un alt tip de conductibilitate electrică, denumită *capacitivă* sau *prin curenți de deplasare*.

Conductibilitatea electrică, indiferent de natura ei, variază în limite foarte mari pentru diferitele minerale și chiar pentru roci ori acumulări de substanțe minerale utile. De aceea, practic este mai avantajos de caracterizat proprietățile electrice a subsolului nu prin conductibilitatea electrică specifică a corpurilor geologice care îl constituie, ci prin valoarea inversă a ei, denumită *rezistivitate electrică* și exprimată în Ωm . Așadar, contrastul de proprietăți electrice este de fapt un contrast de rezistivitate electrică specifică și aceasta este practic latura în care se reflectă corpurile geologice din subsol. Evident că și în acest caz mărimea corpurilor geologice influențează rezultatele prospecțiunii geofizice, dar factorul fizico-geologic de care depinde direct prospecțiunea electrometrică rămîne contrastul la care ne-am referit mai sus.

Alt tip de contrast de proprietăți fizice care se realizează în natură este reprezentat de *contrastul de proprietăți radioactive naturale*. Aceste proprietăți sînt conferite rocilor îndeosebi de mineralele de uraniu care sînt mai numeroase și mai larg răspîndite în natură, au durată de existență caracterizată prin timpi de înjumătățire mai îndelungați și produc radiații mai intense. Prezența acestor minerale și, mai ales a uraninitului, se regăsește — la concentrații variabile și în general mici — practic în toate tipurile de roci. Nu trebuie neglijată însă nici prezența unor minerale de thoriu, ca de exemplu monazitul, importantă în acumulările de minerale grele, ca și a celor de potasiu din rocile metamorfice și magmatice.

Raporturile de conținut în minerale radioactive pot fi foarte diferite în natură și ele variază între 1000/1 și chiar mai mult în cazul zăcămintelor de substanțe radioactive, coborînd pînă la 2/1 în cazul rocilor comune. Parametrul fizic care caracterizează proprietățile radioactive este conținutul în minerale radioactive și se exprimă în $\mu\text{g Ra echiv./g rocă}$. Latura specifică în care se reflectă corpurile geologice ascunse în rezultatele prospecțiunii geofizice va fi așadar, în acest caz, contrastul de conținut în minerale radioactive.

Alt tip de contrast de proprietăți fizice pe care îl realizează corpurile geologice este *contrastul de proprietăți termice*. Acesta derivă în primul rînd din conductibilitatea termică diferită a rocilor și care se exprimă în cal/cm². s. grad centigrad. Pe baza acestei proprietăți are loc difuzia diferențiată a căldurii interne a Pămîntului către suprafața terestră, prin conducție sau convecție, ca și a căldurii generate prin alte fenomene naturale cu sediul aproape de suprafață, cum sînt oxidarea unor mineralizații sau procesele de dizolvare a sării și care reprezintă fie reacții exotermice, fie endotermice. Latura specifică în care se reflectă corpurile geologice în informațiile geofizice este reprezentată în acest caz, în esență, prin contrastul de conductibilitate termică.

În fine, un alt contrast de proprietăți fizice realizat în natură este *contrastul de proprietăți elastice*, pe care se bazează propagarea în subsol a undelor seismice.

Proprietățile elastice ale rocilor, respectiv ale substanțelor minerale utile acumulate în zăcămintele, care interesează în propagarea și, mai ales, în devierea prin refracție sau reflexie a undelor elastice prin subsol, se caracterizează simultan prin doi parametri fizici ale acestora și anume: viteza de propagare a undelor elastice (v) și densitatea (δ).

Astfel, în refracție, contrastul de proprietăți elastice este definit prin contrastul de impedanță acustică — mărime reprezentată de produsul $v \cdot \delta$ — și poate fi exprimat fie ca

$$v_2 \cdot \delta_2 - v_1 \cdot \delta_1$$

fie ca

$$v_2 \cdot \delta_2 / v_1 \cdot \delta_1,$$

indicii 1 și 2 referindu-se la mediul de propagare superior, respectiv inferior.

În reflexie, contrastul de proprietăți elastice este caracterizat prin coeficientul de reflexie care se realizează la limita dintre cele două medii, exprimat ca

$$\frac{v_2 \cdot \delta_2 - v_1 \cdot \delta_1}{v_2 \cdot \delta_2 + v_1 \cdot \delta_1}$$

Mărimea corpurilor geologice, în acest caz grosimea straturilor, intervine cu o pondere mică și practic numai în cazul refracției. Aplicabilitatea acestei forme de prospecțiune geofizică este condiționată deci, aproape exclusiv, de contrastul de proprietăți elastice care reprezintă și latura specifică în care se manifestă structura geologică ascunsă a subsolului.

Așa cum a fost deja precizat, proprietățile fizice ale rocilor — specifice pentru toate metodele geofizice — pot să prezinte valori diferite de la o rocă, mineral sau acumulare de minerale utile la alta, datorită situației geologice concret locale. Deoarece aceste proprietăți fizice nu sînt constante pentru astfel de substanțe, este întotdeauna convenabil să cunoaștem domeniul lor de variație. Pentru aceasta, în tabelul X.5 pe care îl prezentăm sînt înscrise domeniile de variație pentru principalele medii care interesează geologia minieră și prospecțiunea geofizică în această ramură a geologiei economice și, de asemenea, pentru toți parametrii fizici discutați mai sus.

Relieful topografie și structura cuverturii superficiale. Relieful topografic și cuvertura superficială reprezintă alți doi factori fizico-geologici care controlează aplicabilitatea prospecțiunilor geofizice.

Zăcămintele metalifere și în parte cele de cărbuni, sare și substanțe nemetalifere sînt situate — cel puțin în țara noastră — în regiuni muntoase și submuntoase caracterizate prin relief variat și accidentat.

Formele de relief topografic și prezența mai multor tipuri de roci cu proprietăți fizice diferențiate în cuprinsul acestora — îndeosebi în cazul reliefurilor geomorfologice — influențează într-o măsură diferită prospecțiunile geofizice. Măsurătorile gravimetrice și seismice sînt puternic influențate și, din acest motiv, efectele de relief sînt scrupulos evaluate pentru corectarea valorilor măsurate. Efecte datorate acestor factori se resimt și în măsurătorile magnetice și radiometrice, în unele cazuri chiar și în cele electrometrice; în aceste cazuri, deși nu se evaluează reduceri de relief, se ține cont în interpretarea informațiilor geofizice de posibilitatea existenței unor efecte provenite pe această cale.

Cuvertura superficială, reprezentată prin soluri, formațiuni aluviale sau deluviale, alterări a zonelor de suprafață ale rocilor masive, conuri de dejecție sau alte formațiuni

Tabelul X.5

Proprietățile fizice ale principalelor roci și minerale

Rocă sau mineral	Densitatea, g/cm ³	Susceptibilitatea magnetică, 10 ⁻⁶ uCGS	Conținut în Ra echivalent, μg Ra/g	Viteza de propagare, m/s	Rezistivitatea specifică, Ωm
Soluri	1,50—2,00	0—30		300—800	2 · 10 ⁹ —1 · 10 ⁶
Loess	1,40—1,50	20—30		300—800	5 · 10 ¹ —1 · 10 ⁴
Nisip	1,40—2,18	—1	3—21	1 600—1 900	1 · 10 ⁹ —4 · 10 ⁶
Grezie	2,35—2,72	3—700	3—22	2 200—3 000	6 · 10 ¹ —1 · 10 ⁶
Argilă	2,15—2,46	20—40	4—23	2 000—2 200	1 · 10 ⁹ —1 · 10 ⁵
Marnă	2,12—2,57	40—50	3—24	2 100—2 600	5 · 10 ⁻¹ —7 · 10 ⁹
Calcar	2,45—2,81	4—70	3—17	4 000—6 000	1 · 10 ¹ —1 · 10 ⁸
Dolomit	2,60—2,80	—1~4	2—9	4 000—6 000	6 · 10 ³ —5 · 10 ⁷
Sare, gips	2,12—2,25	—1	0—2	4 500—6 000	3 · 10 ³ —1 · 10 ⁸
Lignit	1,00—1,20	—2~2	0—2	1 400—1 900	9 · 10 ² —2 · 10 ⁴
Huilă	1,40—1,50	—2~2	0—2	1 400—2 000	6 · 10 ¹ —1 · 10 ⁷
Antracit	1,40—1,60	—2~3	0—3	1 600—2 000	1 · 10 ² —2 · 10 ⁷
Pirită	4,90—5,20	4—50			5 · 10 ⁻² —1 · 10 ⁻⁴
Calcopirită	4,10—4,30	3—40			1,5 · 10 ⁻² —3,5 · 10 ¹
Pirotină	4,58—4,70	6 000—80 000			5 · 10 ⁻² —5 · 10 ⁹
Magnetit	4,90—5,20	10 000—4 400 000			0,6 · 10 ⁹ —5 · 10 ³
Hematit	5,00—5,30	1 000—80 000			5 · 10 ⁴ —1 · 10 ⁷
Limonit	3,30—4,00	100—500			1 · 10 ⁵ —1 · 10 ⁷
Siderit	3,90—4,00	2—30			7 · 10 ³
Galenă	7,40—7,60	2—40			3 · 10 ⁻³ —2 · 10 ¹
Cromit	4,00—4,80	240—600			1 · 10 ² —2 · 10 ⁶
Calcit	2,60—2,80				10 ⁷
Cuarț	2,50—2,80				10 ⁷
Grafit	1,84—2,23				8 · 10 ⁻⁴ —6 · 10 ⁰
Filit	2,68—2,80	100			
Amfibolit	2,91—3,04	60		6500—7 000	
Șisturi cristaline	2,39—2,87	20		4 000—6 000	3 · 10 ⁵ —4 · 10 ⁶
Gnais	2,59—3,00	0—2 50		4 500—4 900	2 · 10 ⁻⁴ —3 · 10 ⁶
Serpentin	2,80—3,10	250—6 000	0—1	6 500—7 000	2 · 10 ⁴ —3 · 10 ⁵
Granit	2,56—2,71	5—5 000	0—3	4 000—6 000	3 · 10 ² —2 · 10 ⁵
Diorit	2,60—2,75	10—5 000	0—3	5 000—6 000	5 · 10 ⁶ —1 · 10 ⁶
Porfir	2,55—2,66	40—600	0—3	5 000—6 000	6 · 10 ³ —1,5 · 10 ⁶
Sienit	2,60—2,90	50—5 000	0—2	5 000—5 500	1 · 10 ⁴ —1 · 10 ⁷
Bazalt	2,71—3,21	60—6 000	0—2	4 900—6 400	8 · 10 ² —1 · 10 ⁹
Diabaz	2,73—3,12	50—12 000	0—2	5 800—7 100	2 · 10 ³ —2 · 10 ⁶
Gabbrou	2,89—3,09	0—7 000	0—2	6 700—7 300	1 · 10 ⁴ —1,5 · 10 ⁶
Dunit	2,80—3,12	100—2 000	0—1	7 900—8 100	
Tuf vulcanic	1,75—1,85	100—3 000			

alohtone acoperitoare etc., își manifestă de asemenea influența asupra măsurătorilor geofizice prin natura petrografică a lor, variațiile de grosime, gradul de umiditate și altele.

În unele situații, cum este cazul măsurătorilor radiometrice, rocile cuverturii superficiale — dacă depășesc o grosime de mai mulți decimetri — pot să ecraneze radiațiile provenite de la corpurile geologice din subsol, reprezentând un element prohibitiv executării acestora. În prospecțiunea seismică, influența acesteia se consideră scrupulos, evaluându-se efectele asupra propagării undelor elastice și aplicându-se corecțiile necesare. La celelalte metode de prospecțiune geofizică efectele cuverturii superficiale nu se pot evalua, însă trebuie ținut cont în procesul de interpretare a informațiilor de posibilitatea existenței lor.

Mărimea, adâncimea, forma și gradul de izolare a obiectelor geologice. Ideal ar fi ca toate zăcămintele de substanțe minerale utile să fie cât mai mari și cât mai aproape de suprafață, iar forma lor să fie regulată, chiar geometrică, și ușor de determinat printr-un minim de lucrări de explorare; acest lucru este valabil atât pentru industria minieră cât și pentru prospecțiunea geofizică. În realitate, situația nu este deloc aceasta. Din contră, detectarea unor astfel de zăcămintă implică investigarea la adâncimi din ce în ce mai mari și, în general, în condiții de structură geologică mereu mai complicată.

Pentru prospecțiunea geofizică, *mărimea, adâncimea și forma obiectelor geologice* ce urmează a fi detectate pe această cale reprezintă trei factori fizico-geologici care trebuie considerați împreună, deoarece ei se intercondiționează reciproc și se manifestă simultan. Este adevărat că aceștia se reflectă în trei elemente caracteristice ale informațiilor geofizice — morfostructura, intensitatea și extinderea în suprafață a lor — însă această reflectare nu este separată ci simultană, deși cu pondere diferită, a tuturor celor trei factori fizico-geologici în fiecare din acestea.

Pentru unele metode geofizice, cum sînt cele gravimetrică și magnetometrică, obiectele geologice de interes — indiferent de forma lor — pot fi sesizate dacă pe măsură ce crește adâncimea lor le crește și mărimea. Influența adâncimii în radiometrie rămîne factorul cel mai important deoarece, așa cum s-a mai spus, dacă intervine ecranarea fluxului de radiații datorită rocilor care acoperă obiectul geologic de prospectat, adâncimea acestuia poate deveni prohibitivă aplicării acestei metode. În electrometrie, de asemenea, adâncimea joacă un rol esențial, în primul rînd ca urmare a faptului că prin însăși posibilitățile pe care le oferă, metodele electrometrice au o adâncime de investigație mică, de ordinul pînă la 3—400 m. Singura metodă geofizică fără restricții de adâncime este cea seismometrică, dar aplicarea ei în geologia minieră este limitată la substanțele minerale utile găzduite de formațiuni sedimentare slab tectonizate.

Forma obiectelor geologice influențează și ea informațiile geofizice, ca și mărimea acestora. În general, formele disjunctive cum sînt fracturile, dyke-urile, filoanele, zăcămintele stratiforme puternic redresate etc. în care se încadrează o mare parte din problemele geologiei zăcămintelor metalifere, sînt mai favorabile prospectării geofizice. Rezultate concludente se pot obține însă și pentru zăcămintă stratiforme orizontale sau suborizontale, zăcămintă masive de formă oarecare și altele, dacă mărimea lor este satisfăcătoare și adâncimea relativ mică. La unele acumulări de substanțe minerale utile, cum sînt zăcămintele stratiforme, de sulfuri complexe — compacte sau de impregnație — ori stratele de cărbuni, forma lor poate fi puternic complicată datorită accidentelor tectonice, ca falii cu săritură pe verticală sau falii de decroșare; acestea complică reflectarea lor în informațiile geofizice dar, în cazul în care adâncimea la care se găsesc nu este prea mare, prospecțiunea geofizică își conservă aplicabilitatea.

În legătură cu acești trei factori fizico-geologici care controlează aplicabilitatea prospecțiunilor geofizice mai apare și un al patrulea, și anume, *gradul de izolare al obiectelor geologice*. Se înțelege prin *izolare* sau *separare a obiectelor geologice* situația în care acestea găsindu-se în subsol la o adâncime comparabilă au între ele o distanță convenabilă, astfel încît efectele lor să se manifeste în informații geofizice bine individualizate. Cînd distanța dintre acestea este prea mică în raport cu adâncimea lor, apar efecte de cumul prin adițiune, cu alte cuvinte două sau chiar mai multe obiecte geologice ascunse pot să se reflecte într-o singură informație geofizică în care sînt cuprinse efectele individuale ale acestora.

Acest factor fizico-geologic influențează îndeosebi informația gravimetrică și, într-o măsură mai redusă, pe cea magnetică; el nu se face resimțit în celelalte metode de prospecțiune geofizică.

Caracteristicile limitelor geologice. Caracterizarea limitelor geologice după formă, geneză și contrast de proprietăți fizice, respectiv caractere litologice sau petrografice, este necesară din punctul de vedere al individualizării acumulărilor de substanțe minerale utile în raport cu masa rocilor în care acestea sînt găzduite.

În unele cazuri aceste limite sînt nete, tranșante, pe ele făcîndu-se trecerea bruscă de la o valoare a proprietății fizice (densitate, susceptibilitate magnetică etc.) la o alta sensibil diferită. Așa este cazul, de exemplu, cu masivele de sare, cu mineralizațiile masive care se conturează ca niște corpuri bine individualizate, cu unele strate de cărbuni, cu limita cuvertură sedimentară/fundament cristalin și altele. În astfel de situații prospecțiunea geofizică este favorizată în aplicarea ei.

În multe cazuri însă, saltul de proprietăți fizice nu este brusc ci progresiv. Ca exemple se pot da trecerea de la mineralizațiile masive la roca sterilă prin intermediul unei zone de impregnație, trecerea de la o rocă pelitică sau psamitică la cărbune prin intermediul unor marne sau sisturi cărbunoase, zăcămintă metalifere greu definibile ca formă cum sînt stock-urile, volburile etc. În situațiile în care zona de trecere este relativ de mică grosime, deși nu există o limită geologică netă, corpul geologic se manifestă ca avînd o astfel de limită, echivalentă, dar care în realitate nu are un corespondent fizic.

Atunci cînd se realizează situațiile la care ne-am referit mai sus, unor astfel de limite le corespund orizonturi geofizice de referință, foarte importante pentru interpretarea geologică a informațiilor geofizice. Dacă astfel de condiții nu sînt satisfăcute, și sîntem în prezența unor treceri gradate — progresive sau regresive — ale proprietăților fizice pe distanțe mari în raport cu dimensiunile corpului geologic de prospectat, informațiile geofizice obținute de la acesta sînt mai puțin concludente și interpretarea geologică a lor va avea un grad de încredere mai scăzut.

Caracterul limitelor geologice reprezintă factorul hotărîtor pentru informația seismică de reflexie. Pentru ca să existe o bună suprafață de reflexie în subsol, corespunzătoare unei limite litologice, stratigrafice sau paleogeografice, trebuie să fie îndeplinite următoarele cinci condiții:

- contrast de proprietăți elastice, respectiv valoare cît mai mare a coeficientului de reflexie;
- continuitate în suprafață cît mai mare a acestei limite, cu conservarea cît mai bună a valorii coeficientului de reflexie;
- caracter neted, „de oglindă”, a acesteia;
- înclinare care să nu depășească 15—25°;
- absența unor neomogenități locale care să genereze anomalii de viteză de propagare a undelor elastice în formațiunile geologice care acoperă suprafața de reflexie respectivă.

Dacă satisfacerea acestor condiții este deplină, atunci este asigurată existența unor orizonturi seismice de referință de foarte bună calitate, iar informația seismică va avea un grad de încredere foarte ridicat. În marea majoritate a cazurilor avem de-a face numai cu o satisfacere parțială, ceea ce conduce la informații seismice fragmentare; valoarea acestora este însă de necontestat, deoarece — în ansamblu — ele sugerează corect structura geologică ascunsă a subsolului.

Condițiile unei bune limite de reflexie sînt, în fapt, valabile și pentru celelalte informații geofizice, cu precizarea că pentru acestea din urmă cu cît înclinarea limitei geologice este mai mare, ideal verticală, cu atît aplicabilitatea metodelor geofizice respective este mai favorizată. Acest fapt este realizat în natură în foarte multe cazuri, în primul rînd pentru zăcămintele metalifere, datorită caracterului predominant discordant al acestora față de terenurile metamorfice și, mai ales, cele magmatice care le găzduiesc. Totuși, o caracteristică importantă a acestui tip de mineralizații este că ele au forme extrem de neregulate; aceasta face ca realizarea contrastelor de proprietăți fizice ale acumulărilor minerale față de roca-gazdă să aibă loc pe limite greu de definit și foarte diferite ca poziție în spațiu de la un caz la altul, variind de la cea verticală la cea orizontală.

Costul lucrărilor. În practica aplicării metodelor de prospecțiune geofizică trebuie ținut seama nu numai de problema geologică de rezolvat și de domeniul de aplicabilitate al diferitelor metode, ci și de costul lucrărilor respective. Așa dar, pe lîngă condiționările fizice și geologice mai apare și o condiționare economică la folosirea acestor metode de prospecțiune.

După cum a fost precizat mai înainte, fiecare tip de informație geofizică conține reflectarea unei laturi specifice a structurii geologice ascunse a subsolului. Varietatea acumulărilor de substanțe minerale utile face ca acestea să-și trădeze existența lor în una sau alta din informațiile geofizice. De exemplu, o mineralizație de sulfuri complexe poate să se reflecte mai evident în informația magnetică, dacă are un conținut mai ridicat în minerale feromagnetice (pirită, pirotină, magnetit, hematit etc.), sau în cea electrometrică, în cazul cînd astfel de minerale sînt conținute într-un procentaj mai scăzut și cînd structura și textura mineralizației este diferită. Din acest motiv, eficiența prospecțiunii geofizice la localizarea unor astfel de acumulări crește atunci cînd avem la dispoziție mai multe tipuri de informații geofizice sau, cum se mai spune, atunci cînd se efectuează prospecțiuni geofizice complexe.

Pe de altă parte, acumulările de substanțe minerale solide fiind în general de dimensiuni mici, cu grosimi de ordinul pînă la cîțiva metri, detectarea existenței acestora în subsol necesită prospecțiuni geofizice de mare detaliu. Din această cauză, astfel de prospecțiuni trebuie precedate de unele cu caracter mai regional, care să stabilească șansele de existență a unor anumite tipuri de acumulări de substanțe minerale, respectiv prin care să se descifreze structura geologică ascunsă, existența unor condiții metalogenetice de afiliație magmatică sau metamorfică, existența unor factori de control structural cum sînt de exemplu fracturile și altele.

Cu alte cuvinte, prospectarea geofizică a zăcămintelor minerale necesită aplicarea unui complex de metode geofizice, cel puțin în două faze diferite: una *regională* și una *locală, de mare detaliu*.

Este, de asemenea, de remarcat că metodele geofizice au nevoie de mijloace mai complicate și de o prelucrare mai laborioasă a rezultatelor, ceea ce face ca ele să fie mai costisitoare decît cele geologice sau geochimice. Astfel, luînd ca termen de comparație costul mediu anual al unei echipe-lună de prospecțiuni electrometrice care este cel mai coborît, costurile relative sînt cu 20% mai mari pentru o echipă de magnetometrie

la sol, cu 50% pentru o echipă de gravimetrie, cu 375% pentru una de aeromagnetism și cu 700% mai mari pentru o echipă de seismometrie.

Așa dar, în economia aplicării prospecțiunilor geofizice este necesar ca la proiectarea acestor lucrări să fie făcută o analiză foarte atentă a eficacității probabile a metodelor cît și a cheltuielilor ocazionate de folosirea lor, alegînd final acea metodă sau acel complex de metode pentru care cheltuielile care se vor efectua vor fi justificate prin natura și valoarea informațiilor geologice ce se vor obține.

2.2. COMPLEXUL DE METODE GEOFIZICE SPECIFIC PROBLEMELOR DE GEOLOGIE MINIERĂ

Geofizica este știința care se ocupă cu studiul proprietăților și al fenomenelor fizice ale Pămîntului, precum și cu legătura lor cu structura internă a acestuia. Partea aplicativă a acestei științe, în speță prospecțiunea geofizică, încorporează un complex de metode, tehnici și variante ale acestora relativ multe la număr, bazate pe fenomene fizice naturale sau provocate, și care au o caracteristică comună prin aceea că folosesc măsurători la suprafața Pămîntului, în aer, pe și sub apă sau în excavații miniere, detectînd variații legate de diferențierea proprietăților fizice ale mineralelor, rocilor sau formațiunilor geologice care sînt interpretate apoi în termeni geologici sub formă de structuri, accidente tectonice sau acumulări de substanțe minerale utile.

În cele ce urmează vom face o scurtă prezentare a metodelor geofizice și, îndeosebi, a acelor variante care interesează geologia minieră. Cititorul care este interesat în adîncirea problemelor de metodică și tehnică a acestui gen de prospecțiuni poate consulta lucrări apărute anterior în acest domeniu și anume: Botezatu (1964), Constantinescu et al. (1965), Socolescu (1967), Botezatu et al. (1976), Airinei (1977), Botezatu (1977), Zegheru și Albotă (1979).

2.2.1. PROSPECȚIUNEA GEOMAGNETICĂ

Pămîntul se manifestă în exteriorul lui ca un magnet, exercitînd forțe de atracție asupra oricărui magnet sau obiect constituit din metale feroase. Forța cu care acționează asupra unui corp de masă magnetică unitară poartă numele de *cîmp geomagnetic*.

Privit la scară planetară, cîmpul geomagnetic are o structură relativ regulată — destul de apropiată de aceea a cîmpului creat de un magnet în formă de bară — și o intensitate de valoare scăzută.

Unitatea CGS de intensitate a cîmpului magnetic poartă numele de *Oerstedt* și se notează cu 1 Oe. Ea reprezintă cîmpul creat de un pol magnetic (masă magnetică) unitar într-un punct situat la distanța de 1 cm, mediul fiind nemagnetic. Această unitate de măsură fiind prea mare pentru cîmpul geomagnetic, în prospecțiunea magnetică se folosește unitatea practică purtînd numele de *gamma*, relația dintre acestea fiind $1\gamma = 10^{-5}$ Oe.

Cîmpul geomagnetic prezintă variații atît în spațiu, de la un punct la altul pe suprafața Pămîntului ca și în aer pe măsură ce ne îndepărtăm de aceasta, cît și în timp.

Variațiile în spațiu se datoresc structurii interne a Pământului — nucleul și mantaua care produc partea regulată a cîmpului geomagnetic — precum și scoarței acestuia și îndeosebi a părții superioare a ei, unde au loc diferitele diferențieri ale rocilor și existența acumulărilor de substanțe minerale utile cu proprietăți magnetice ridicate. Acestea din urmă produc abateri de la aspectul regulat al cîmpului geomagnetic.

Configurația generală destul de regulată a distribuției cîmpului geomagnetic pe întreaga suprafață a Pământului a condus la ideea separării acestuia în două părți și anume: *cîmpul geomagnetic normal* (T_0) și *anomalia cîmpului geomagnetic* (ΔT). Acest lucru se exprimă analitic prin relația

$$T = T_0 + \Delta T$$

În general, cîmpul geomagnetic normal care, așa cum se deduce din cele arătate mai sus ar corespunde magnetizării practic uniforme a nucleului și mantalei Pământului, nu se poate evalua pe calea analitică; el este însă determinat în condiții satisfăcătoare pentru teritoriul unui stat prin măsurători în puncte în care practic anomalia ΔT este neglijabilă, astfel încît conform relației de mai sus putem considera $T_0 \cong T$.

Variațiile în timp, care pot fi periodice (cu perioadă de 11 ani și de 24 ore) sau neperiodice (furtuni magnetice, variații în golf, trenuri de unde etc.), se datoresc în principal unor fenomene de inducție ca urmare a ionizării păturii înalte a atmosferei terestre sub acțiunea fluxului variabil de particule electrizate emise de Soare în urma activității solare.

După cum rezultă din cele de mai sus, prospecțiunea geomagnetică are ca obiect punerea în evidență a anomaliilor cîmpului geomagnetic, respectiv a abaterilor de la valoarea normală a acestuia, produse de structura geologică ascunsă și de acumulările de substanțe minerale utile pe care aceasta le conține. Practic, obiectele geologice care se manifestă în această metodă de prospecțiune geofizică sînt în primul rînd produsele magnetismului de diverse tipuri în ceea ce privește descifrarea structurii geologice și acumulările de minerale feroase, îndeosebi de oxizi, prin ele însele, precum și orice alte mineralizații metalifere ori nemetalifere care au în paragenză prezența unor minerale feromagnetice.

Așadar, cîmpul geomagnetic are dimensiuni de forță.

Cîmpul magnetic produs de corpurile geologice care interesează prospecțiunea geomagnetică, respectiv ceea ce am numit mai sus anomalia geomagnetică pentru rațiuni care se vor vedea mai departe, are evident aceleași dimensiuni de forță și derivă, ca și cîmpul geomagnetic de altfel, dintr-un potențial.

Potențialul magnetic Ω produs într-un punct oarecare $P_0(x_0, y_0, z_0)$ al spațiului exterior de către un corp geologic de volum V caracterizat printr-o intensitate de magnetizare I orientată pe direcția i într-un punct curent $P(x, y, z)$ din interiorul corpului situat la distanța $u = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}$ este dat de relația

$$\Omega = \iiint_V I \cdot \frac{\partial}{\partial i} \left(\frac{1}{u} \right) \cdot dx dy dz,$$

iar cîmpul magnetic T produs de către acest corp în același punct P_0 va fi

$$T = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$$

în care

$$X = -\frac{\partial \Omega}{\partial x}; \quad Y = -\frac{\partial \Omega}{\partial y}; \quad Z = -\frac{\partial \Omega}{\partial z}.$$

Derivînd dintr-un potențial, cîmpul magnetic reprezintă de fapt un cîmp potențial.

Acestea fiind elementele de bază care fundamentează prospecțiunea geomagnetică, să vedem acum în ce constă practic aceasta.

Mărimile care se măsoară în acest gen de prospecțiune geofizică sînt fie variațiile în cadrul unei anumite suprafețe a componentelor verticală (ΔZ) sau orizontală (ΔH) a cîmpului geomagnetic, fie ale intensității acestuia (ΔT). Aparatele folosite poartă numele de *magnetometre* și pot fi bazate pe principii constructive diferite și anume: balanțe magnetice, sonde cu saturație, precesie protonică sau pompaj optic. Precizia de măsurare variază de la un tip la altul și este cuprinsă între $\pm 30 \gamma$ și $\pm 0,1 \gamma$.

Măsurătorile la sol se execută în puncte situate pe profile care urmăresc căile de acces (drumuri, poteci, văi și interfluvii), astfel încît să se asigure o distribuție cît mai uniformă a punctelor de măsură în cuprinsul suprafeței de prospectat în cazul lucrărilor cu caracter regional, precum și în rețele geometrice de puncte în cazul lucrărilor de detaliu și mare detaliu. Măsurătorile aeromagnetice cu avioane sau elicoptere se realizează prin înregistrarea continuă a mărimii magnetice determinate de-a lungul unor profile liniare, folosind în general un plafon constant de zbor. În toate cazurile, valorile determinate au un caracter relativ, reprezentînd variații față de o valoare absolută sau arbitrar aleasă a unui punct din cuprinsul suprafeței de prospectat ori din vecinătatea acesteia.

Valorile brute măsurate ale diferitelor mărimi magnetice, pentru a fi comparabile între ele, sînt corectate cu efectele variațiilor de temperatură și ale variației diurne a cîmpului geomagnetic din intervalul de timp al zilei în care au fost determinate în grupul de stații sau de profile respective. În modul acesta se constituie un sistem unitar, omogen și coerent de valori în raport cu situația de bază a lucrării.

Aplicarea, pentru fiecare valoare, a reducerii de cîmp normal, le transformă pe acestea în valori ale anomaliilor cîmpului geomagnetic, respectiv a uneia din componentele acestuia, mărime care reflectă acum numai influența corpurilor geologice din subsol.

Prezentarea rezultatelor prospecțiunii geomagnetice se face sub formă de *hărți cu curbe de egală valoare* sau sub formă de *profile de variație a anomaliilor geomagnetice*. Acestea sînt cele două tipuri cartografice pe care le poate lua informația magnetică într-o regiune prospectată geofizic prin această metodă și care urmează a fi interpretată în termeni geologici pentru localizarea și conturarea maselor magnetice perturbante din subsol.

2.2.2. PROSPECȚIUNEA GRAVIMETRICĂ

Prospecțiunea gravimetrică se bazează pe un alt cîmp potențial și anume *cîmpul gravitației*.

Ori unde există corpuri, deci mase materiale, există și forțe de atracție între acestea. Acest adevăr a fost stabilit de *Newton* în anul 1666.

Pământul fiind un corp cu o mare masă materială, va exercita o forță de atracție asupra oricărui alt corp situat pe suprafața sau în exteriorul lui. Pe de altă parte,

Pământul este un corp în rotație, astfel încât asupra corpurilor de pe suprafața lui va acționa nu numai o forță de atracție spre Pământ ci și una centrifugă care va tinde să le deplaseze spre spațiul exterior pe direcția razei de rotație. Deoarece raportul intensităților acestor două forțe este net în favoarea celei de atracție — cea de rotație având valori cuprinse între 0 la Poli și circa 1/300 din prima la Ecuator — dominantă ca direcție, intensitate și sens rămâne componenta de atracție.

În acord cu cele precizate mai sus, câmpul gravitației — care se notează cu g — este definit ca fiind forța cu care acționează Pământul în rotație asupra unui corp de masă unitară situat pe suprafața acestuia sau în exteriorul lui.

Unitatea CGS de intensitate a câmpului gravitației se numește *gal* și are dimensiunile 1 cm s^{-2} . Deoarece această unitate este prea mare pentru nevoile practice ale prospecțiunii gravimetrice, se folosește un submultiplu al ei și anume *miligalul*, relația dintre acestea fiind $1 \text{ mgal} = 10^{-3} \text{ gal}$.

Ca și câmpul geomagnetic, cel al gravitației prezintă variații în spațiu și în timp.

Variațiile în timp se datoresc interacțiunii atractive dintre Pământ, Soare și Lună, ultimele două ca principalele corpuri cerești care își manifestă prezența din acest punct de vedere. Aceste variații, al căror efect ia forma unor marea terestre, au o predominantă periodicitate diurnă și o intensitate mică ce nu depășește ca ordin de mărime $0,2 \text{ mgal}$ în țara noastră; în general, influența lor este neglijată în prospecțiunea gravimetrică.

Variațiile în spațiu, de la un punct la altul pe suprafața Pământului, ca și pe verticală spre exterior sau spre interior (în puțuri de mină sau în găuri de sondă) se datoresc masei interne a acestuia. Și în cazul gravimetriei distingem o parte regulată, datorată atracției nucleului, mantalei și scoarței, care poartă numele de *câmp normal* și se notează cu γ_0 . Acest câmp normal este evaluat analitic în ipoteza că Pământul are forma definită de elipsoidul geodezic de referință adoptat internațional și o distribuție de masă cu caracter omogen în interiorul lui. Față de acest câmp al gravitației, normal, care prezintă un aspect general regulat pe suprafața Pământului, structurile geologice și acumulările de substanțe minerale utile din zonele superioare ale scoarței acestuia, realizând contraste pozitive sau negative de densitate și de masă față de formațiunile înconjurătoare, exercită atracții care reprezintă abateri de la valoarea normală sau, în termeni uzuali, *anomalii gravimetrice*. Acestea sînt cele care fac obiectul prospecțiunii gravimetrice și care vor trebui interpretate în termeni geologici sub formă de structuri, accidente tectonice sau acumulări de substanțe minerale utile.

Spre deosebire de proprietățile magnetice care caracterizează numai o parte din rocile sau mineralele care intră, în diferite forme, în alcătuirea scoarței terestre, densitatea este o proprietate generală astfel încât toate formațiunile geologice ale scoarței se vor manifesta — cu o pondere diferită corelativ cu contrastul de densitate și de masă al lor — în câmpul gravitației.

Ceea ce interesează deci prospecțiunea gravimetrică sînt anomaliile gravitației produse de corpurile geologice ascunse care ar putea avea un interes economic.

Potențialul gravitației produs într-un punct oarecare $P_0(x_0, y_0, z_0)$ al spațiului exterior de către un corp geologic de volum V caracterizat printr-o densitate δ într-un punct curent $P(x, y, z)$ din interiorul corpului situat la distanța $u = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}$ este dat de relația

$$W = G \cdot \iiint_V \delta \cdot \frac{1}{u} \cdot dx \cdot dy \cdot dz,$$

iar câmpul gravitației g produs de către acest corp în același punct exterior P_0 va fi

$$g \cong G \cdot \iiint_V \delta \cdot \frac{z}{u^3} \cdot dx \cdot dy \cdot dz.$$

După cum se poate remarca, g a fost identificat cu derivata parțială după direcția verticală a potențialului gravitației, respectiv $\partial W / \partial z$, deoarece componenta de rotație nu modifică practic direcția verticală a celei de atracție. În relațiile de mai sus G reprezintă constanta atracției universale avînd valoarea de $6,67 \cdot 10^{-8} \text{ uCGS}$.

Așadar, ceea ce se măsoară în cadrul prospecțiunii gravimetrice este câmpul gravitației g . Aparatele folosite poartă numele de *gravimetre statice*, elementele sensibile la variațiile câmpului gravitației, fiind în majoritatea cazurilor sisteme de mase suspendate pe mai multe arcuri, atît unele cit și celelalte confecționate din metal sau cuarț topit, și atingînd precizii de ordinul $\pm 0,03 \text{ mgal}$.

Măsurătorile au un caracter relativ, ca diferențe față de o stație de bază cu valoare cunoscută din lucrări anterioare sau arbitrar aleasă, și se execută pe cicluri de stații grupate pe profile, într-o rețea oarecare sau geometrică, după caracterul lucrării — de recunoaștere, detaliu sau mare detaliu. Diferențele de gravitate obținute între capetele ciclurilor executate în cuprinsul ariei prospectate sînt puse cap la cap și combinate astfel încît să se obțină poligoane închise, transversale și bucle exterioare, pentru ca să se poată controla calitatea valorilor măsurate. Erorile de închidere se compensează pe circuite închise. În felul acesta se constituie rețeaua de gravitate măsurată compensată, care conține valorile relative ale câmpului gravitației pentru întreaga rețea de stații gravimetrice în aria prospectată, ca un sistem omogen și coerent de valori ale gravitației.

Pentru a obține anomalia câmpului gravitației este necesară aplicarea în continuare a unor reduceri geofizice pentru valorile la care ne-am referit mai sus. Aceste reduceri, în afară de cea de câmp normal, urmăresc să elimine atracțiile exercitate de masele reprezentate de relieful topografic și de formațiunile geologice care se găsesc pînă la suprafața elipsoidului geodezic de referință, ca și efectul diferenței de nivel dintre poziția stației pe relief și suprafața de reducere. Eliberate de aceste influențe, valorile relative ale lui g măsurate și compensate devin g'' raportate la o suprafață unică, identică cu aceea pentru care au fost determinate valorile γ_0 , și deci comparabile între ele. Astfel, *anomalia câmpului gravitației* se exprimă ca

$$\Delta g'' = g'' - \gamma_0$$

și aceasta este mărimea care reflectă numai efectul corpurilor geologice ascunse.

Reprezentarea cartografică a anomaliilor câmpului gravitației, care reprezintă în fapt informația gravimetrică, se poate face în două moduri: fie sub formă de hărți cu curbe de egală valoare, fie sub formă de profile de variație a acesteia.

2.2.3. PROSPECTIUNEA ELECTROMETRICĂ

Prospecțiunea electrometrică și, mai ales, cea pentru minereuri, cuprinde un număr relativ mare de metode și tehnici bazate pe fenomene electrice diferite cum sînt: existența unor electropotențiale naturale sau răspunsul structurii geologice la excitația acesteia cu un curent continuu ori alternativ, ultimul într-un domeniu mare de

frecvență care se înscrie între 5 cicli/s și 5 megacicli/s. În cele ce urmează ne vom referi numai la trei din aceste metode a căror aplicabilitate s-a dovedit cu rezultatele cele mai concludente în condițiile specifice ale structurii geologice și mineralizațiilor din țara noastră.

Prospecțiunea prin metoda potențialului natural. Această metodă se bazează, în primul rând, pe activitatea electrochimică naturală care are loc în anumite condiții de zăcămint ale rocilor sau mineralizațiilor în urma căreia, în spațiul înconjurător acestora din subsol, apare un câmp electric propriu.

Fenomenele electrochimice principale sînt *oxidarea* și *reducerea*. Prin oxidare, roca sau mineralul pierde o cantitate de electroni, rămînînd cu o sarcină electrică pozitivă; prin reducere (cementare), fenomenul are loc invers, roca sau mineralul prezentînd o sarcină electrică negativă.

Potențiale electrice de oxidare și reducere apar îndeosebi la mineralizațiile de sulfuri metalice (mai ales pirită), oxizi (magnetit, hematit etc.), cărbuni de pămînt (ligniți inferiori, huiă, antracit), grafit și roci grafitoase. Astfel de electropotențiale nu apar însă decît în cazul în care fenomenul de oxidare este însoțit de cel de reducere, ceea ce are loc numai dacă acumularea de substanțe minerale utile îndeplinește următoarele patru condiții necesare și suficiente:

- să fie constituită dintr-o substanță bună conducătoare de electricitate;
- să aibă continuitate, adică granulele minerale să se atingă între ele;
- să se dezvolte pe verticală, astfel încît partea superioară a ei să se găsească deasupra nivelului hidrostatic al regiunii;
- substanța din care este constituită acumularea să fie oxidabilă.

În aceste condiții și numai în acestea, acumularea respectivă va suferi un fenomen de oxidare la partea ei superioară și unul de reducere la partea ei inferioară, căpătînd funcțiunea unei pile electrice naturale. În modul acesta, la suprafața solului apare o zonă de potențial electric negativ care poate fi pusă în evidență prin prospecțiunea geofizică și care trădează existența acumulării minerale ascunse la care a avut loc fenomenul electrochimic descris mai sus.

Electropotențialele naturale pot să mai apară și datorită unor fenomene fizice legate de circulația apelor mineralizate cum sînt difuzia, adsorbția, filtrarea și ascensiunea acestora prin capilaritate; aceste fenomene sînt însă mai puțin importante în prospecțiunea geofizică minieră.

Prospecțiunea electrometrică prin metoda potențialului natural constă în determinarea diferențelor de potențial între puncte echidistante la 10—50 m, situate pe profile liniare și constituind o rețea pătratică sau dreptunghiulară de puncte de măsură. Aceste diferențe măsurate între două puncte învecinate se însumează algebric progresiv de-a lungul profilelor, obținîndu-se astfel variația potențialului natural pe fiecare profil în parte. Echipamentul folosit la acest gen de prospecțiune geofizică este constituit dintr-un potențiometrul cu care se determină diferențele de potențial, electrozi nepolarizabili și cabluri electrice.

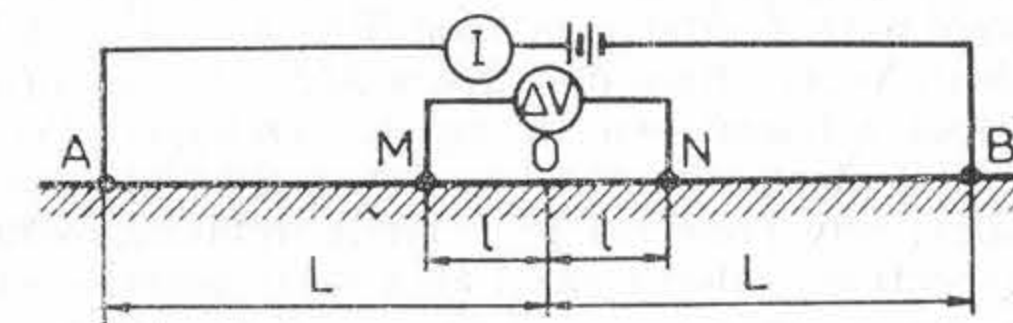
Rezultatele prospecțiunii prin această metodă se reprezintă cartografic sub formă de hărți cu curbe de egală valoare sau profile de variație a acestei mărimi care reprezintă cele două feluri de materializare ale informației geofizice obținută pe această cale.

Prospecțiunea prin metoda rezistivităților. Este metoda cu cea mai largă aplicabilitate din categoria celor care se bazează pe introducerea unui curent electric continuu în subsol.

Mărimea fizică ce se determină în acest gen de prospecțiune geofizică este rezistivitatea aparentă ρ_a . Un dispozitiv de măsurare a rezistivității aparente (fig. X.38)

se compune dintr-o linie de alimentare AB prin care se introduce un curent continuu în subsol (doi electrozi simpli A și B , cabluri electrice și un generator de curent continuu care debitează un curent electric de intensitate I) și o linie de măsură MN (doi electrozi nepolarizabili M și N , cabluri electrice și un potențiometrul pentru determinarea diferenței de potențial ΔV care apare între M și N). Se demonstrează că

Fig. X.38. Exemplu de dispozitiv AMNB pentru determinarea rezistivității aparente.



valoarea rezistivității aparente și care se raportează în punctul situat la mijlocul liniei de măsură se obține din relația

$$\rho_a = K \frac{\Delta V_{MN}}{I}$$

în care K reprezintă o constantă care depinde de geometria fiecărui dispozitiv, respectiv de cele patru distanțe dintre electrozii de alimentare și cei de măsură, precum și de factorul de spațiu 2π .

În practică se folosesc dispozitive cuadripolare AMNB cu geometrii diferite și anume: cu cei patru electrozi așezați colinar și simetrici doi câte doi față de centrul dispozitivului (Schlumberger) sau echidistanți între ei (Wenner), ori cu trei electrozi apropiați și unul foarte îndepărtat, cu liniile AB și MN separate și coliniare sau necoliniare (pol-dipol și dipol-dipol) și altele.

Ca semnificație fizică, *rezistivitatea aparentă* reprezintă valoarea rezistivității unui subsol ipotetic, omogen și izotrop din punct de vedere electric, mărginit de suprafețe plane și orizontale, care ar da aceeași valoare a diferenței de potențial ΔV măsurată în condiții experimentale similare, respectiv cu același dispozitiv AMNB și folosind aceeași intensitate de curent I . În realitate, subsolul neavînd o stratificație orizontală și nefiînd nici omogen și izotrop, rezistivitatea aparentă ρ_a reprezintă media ponderată a rezistivităților specifice ale rocilor care îl constituie, obținută prin măsurători de suprafață a diferenței de potențial și a intensității curentului electric, cu un dispozitiv cuadripolar adecvat.

Mai este necesar de precizat un lucru important și anume că adîncimea de investigație a unui dispozitiv AMNB este de 0,2 pînă la 0,5 din lungimea liniei de alimentare AB . Cu alte cuvinte, valoarea rezistivității aparente ρ_a determinată pe această cale reprezintă media ponderată a rezistivităților specifice a rocilor din subsol pe o grosime, considerată de la suprafața solului, de 0,2—0,5 din lungimea liniei de alimentare folosite.

Metoda rezistivității poate fi utilizată în două variante:

— Una este așa-numita *profilare electrică*, utilizînd un dispozitiv AMNB de tip *Wenner* cu geometrie fixă, care este deplasat succesiv cu o anumită distanță de-a lungul unor profile paralele. Valorile ρ_a astfel obținute, comparabile între ele deoarece se referă la aceeași adîncime de investigație, servesc la consturirea unor hărți cu curbe de egală valoare a acestei mărimi care reprezintă informația geofizică în acest caz. În funcție de caracteristicile geologice ale regiunii de prospectat pot fi folosite și alte

tipuri de dispozitive, ca de exemplu dipol-dipol, ceea ce nu schimbă însă cu nimic natura informației geofizice dar, pentru anumite situații particulare o îmbogățește în conținut.

— Cea de-a doua variantă este *sondajul electric vertical*. În acest caz se determină variația rezistivității aparente cu adâncimea, într-un sistem de puncte care aparțin unei configurații geometrice sau de o formă oarecare situate la suprafața solului. Acest lucru este posibil prin modificarea succesivă în fiecare punct a lungimii liniei de alimentare AB , linia de măsură MN fiind menținută practic constantă. Dispozitivul cuadripolar folosit este de tip *Schlumberger*. Pentru fiecare lungime AB din cadrul unui sondaj electric vertical se determină valoarea rezistivității aparente și acest sistem de valori este proiectat pe o hîrtie dublulogaritmă în raport cu semilungimea liniei AB respective, valorile fiind apoi unite printr-o curbă continuă. Acest grafic, reprezentînd *diagrama sondajului electric vertical*, oferă o indicație asupra variației cu adâncimea rezistivităților specifice ale rocilor din subsol și reprezintă informația geofizică furnizată de sondajul electric vertical.

Metoda rezistivităților este aplicabilă practic în orice problemă de geologie minieră.

Prospecțiunea prin metoda polarizației induse. Polarizația indusă apare în anumite situații geologice, atunci cînd în subsol este introdus un curent continuu — pulsant într-un singur sens sau în ambele sensuri — ori un curent alternativ. Această manifestare electrică are la bază două fenomene de natură diferită, așa cum se arată mai jos.

Unul din acestea este *polarizația de electrod*. Așa cum s-a mai arătat, rocile fiind niște agregate poliminerale reprezintă medii de mare complexitate pentru propagarea curentului electric prin ele, conținînd granule de minerale metalice cu conductibilitate electronică și de alte minerale care se comportă practic ca niște dielectrice, precum și apă cu un oarecare grad de mineralizare caracterizată prin conductibilitate ionică.

Dacă un astfel de mediu este supus unei diferențe de potențial electric, la trecerea curentului printr-o granulă metalică se formează pe suprafețele interioare ale acesteia un strat electric simplu — negativ în zona de intrare a curentului și pozitiv în cea de ieșire a lui —, care vor atrage din soluție ioni liberi de semn contrar. În modul acesta se vor constitui, în cele două zone ale granulei metalice, două straturi electrice duble cu polaritate opusă.

La întreruperea diferenței de potențial aplicate, aceste straturi duble se distrug. Sarcinile electrice din interiorul granulei se neutralizează reciproc, refăcîndu-se echilibrul electric inițial al acesteia. Sarcinile ionilor concentrați pe cele două fețe exterioare opuse ale granulei dau acesteia caracterul unui mic condensator care se descarcă.

Descărcarea simultană a tuturor acestor mici condensatori în masa rocii, la întreruperea curentului electric, reprezintă tocmai polarizația indusă care dispare într-un timp scurt prin redistribuirea uniformă a ionilor în soluție.

Acest fenomen stă la baza prospectării geofizice a mineralizațiilor cu conținut scăzut în metal (de tip „porphyry copper”, de impregnație etc.).

Cel de-al doilea fenomen generator de polarizație indusă este așa numita *polarizație de membrană*, caracteristică rocilor predominant argiloase. Dacă o astfel de rocă este supusă unei diferențe de potențial, ioni din soluția care îmbibă porii rocii sînt puși în mișcare, iar granulele de minerale argiloase au un rol de adsorbție selectivă (electrodializă) a acestora. Mobilitatea diferită a ionilor, mai mare a cationilor și mai mică a anionilor, generează gradienti de concentrare ionică și prin aceasta efecte de polarizație indusă care, de asemenea, dispar după un timp scurt de la întreruperea aplicării diferenței de potențial, datorită redistribuirii în forma inițială a ionilor în soluția mineralizată.

Acest fenomen stă la baza prospectării geofizice a zonelor de alterare hidrotermală — în sensul caolinizării — a rocilor magmatice, zone cărora le sînt afiliate procese de metalogeneză și mineralizații auro-argentifere și de sulfuri complexe de tip filonian, volburi etc.

Prospecțiunea prin metoda polarizației induse se poate realiza în două moduri, conducînd la mărimi fizice cu dimensiuni diferite. Trebuie totuși precizat de la început că în ceea ce privește conținutul geologic al informațiilor nu există deosebiri esențiale între acestea.

O formă de astfel de prospecțiune este cea din domeniul timp, la care se folosește un curent electric continuu, pulsant de obicei în ambele sensuri. În acest caz se măsoară următorii doi parametri:

— *polarizabilitatea aparentă* η_a

$$\eta_a = \frac{\Delta V_{PP}}{\Delta V_{MN}}$$

care se exprimă în % sau în mV/V și reprezintă raportul dintre diferența de potențial indus determinată la un interval foarte scurt după întreruperea curentului electric și diferența de potențial care apare în timpul introducerii curentului electric;

— *factorul de încărcare* M_a

$$M_a = \int_0^t \frac{\Delta V_{PP}}{\Delta V_{MN}} dt$$

care se exprimă în milisecunde.

Cea de-a doua formă este în domeniul frecvență, pentru care se folosește curent electric alternativ. Se măsoară următorii doi parametri:

— primul este *efectul de frecvență* F_e

$$F_e = \frac{\rho_{a1} - \rho_{a2}}{\rho_{a1}}$$

exprimat în procente, ρ_{a1} și ρ_{a2} reprezentînd rezistivitățile aparente pentru frecvența cea mai joasă, respectiv cea mai înaltă, a curentului introdus în subsol;

— al doilea parametru, în acest caz, este *factorul metalic* M_f

$$M_f = \frac{F_e}{\rho_{a1}} \cdot C$$

care are dimensiuni de conductibilitate electrică, C fiind o constantă fără dimensiuni.

Dispozitivele de măsură pentru acest gen de prospecțiune geofizică sînt de tip AMNB, asemănătoare cu cele folosite în metoda rezistivităților, cu preferință pentru cele dipol-dipol sau pol-dipol, cînd se execută profilare electrică, și pentru cel de tip *Schlumberger*, cînd se execută sondaj vertical de polarizație indusă. Echipamentul pentru linia AB este ceva mai complicat, în afară de generatorul de curent (în cazul în care folosim curent continuu mai este necesar un pulsator și un inversor de curent) mai conținînd un timer electronic. Cel pentru linia de măsură MN este, de asemenea, mai complex, conținînd o rețea integratoare, amplificatoare și un oscilograf înregistrator.

Este, de asemenea, de precizat că cu un același dispozitiv se determină întotdeauna și rezistivitatea aparentă ρ_a .

Informația geofizică obținută prin metoda polarizației induse se concretizează în hărți cu curbe de egală valoare, diagrame de sondaj și secțiuni geoelectrice a diferiților parametri folosiți în această metodă.

2.2.4. PROSPECTIUNEA RADIOMETRICĂ

Acest gen de prospecțiune geofizică are ca obiect punerea în evidență a anomaliilor intensității radiației γ ca urmare a dezintegrării naturale a mineralelor elementelor radioactive acumulate în zăcămintele sau asociate unor alte tipuri de mineralizații, mai frecvent de elemente rare și disperse ori de minerale grele.

Mărimea fizică determinată este *intensitatea radiației γ globale*, în care caz se folosesc radiometre bazate fie pe ionizarea aerului la sol sau ionizarea unui amestec de gaze, fie pe fenomenul de scintilație. Introducerea mai recentă a spectrometriei permite ca pe lângă intensitatea radiației γ globale să se determine și separat componentele acesteia, respectiv cele uranică, thorică și potasică. Se mai poate determina și concentrația radonului sau thoronului în probe de aer din sol, folosind emanometre bazate pe ionizarea acestuia, concentrații care sînt proporționale tot cu intensitatea radiației γ globale.

Lucrările de prospecțiune radiometrică pot fi executate cu aparatură aerportată de elicoptere sau avioane, ori prin măsurători cu radiometre sau emanometre în diferite puncte la sol situate la distanțe de zeci sau sute de metri, atunci cînd au caracter regional; pentru lucrări de detaliu se realizează numai măsurători la sol, în rețele de puncte cu configurație geometrică sau oarecare, dar situate la distanțe de ordinul metrilor sau a cîteva zeci de metri între ele.

Valoarea brută a intensității radiației γ globale, în afară de efectul corpurilor geologice din subsol care prezintă interes, mai conține o serie de efecte provenite de la cauze neinteresante și de care trebuie să fie eliberate. Aceasta se realizează prin aplicarea următoarelor reduceri: de fond radiometric (efectele radiației cosmice, a materialelor din care este construit aparatul de măsură și a formațiunilor geologice superficiale), de altitudine, de latitudine geomagnetică și de relief topografic.

După îndepărtarea acestor efecte se obține anomalia intensității radiației γ globale în fiecare punct de măsurare, care servește la construirea de hărți cu curbe de egală valoare sau de profile de variație a acestei mărimi. Aceste două forme de exprimare cartografică reprezintă informația geofizică obținută prin această metodă de prospecțiune.

2.2.5. PROSPECTIUNEA SEISMOMETRICĂ

Această metodă de prospecțiune geofizică este destinată aproape în exclusivitate studierii structurii cuverturilor sedimentare și se bazează pe producerea la suprafață sau la adîncimi mici a unui cîmp de unde elastice — din care utile prospecțiunii sînt numai cele longitudinale — și valorificarea acelor unde care, fiind deviate din drumul lor spre în jos prin reflexie sau refracție pe anumite limite de separație dintre roci sau formațiuni geologice, se reîntorc la suprafață unde sînt înregistrate la intervale de timp riguros determinate față de momentul producerii lor. Devierea undelor elastice pe

limite de separație care despart medii cu viteze de propagare v_1 și v_2 este controlată de *legea lui Snell*

$$\frac{\sin i}{\sin d} = \frac{v_1}{v_2}$$

în care i și d sînt unghiurile de incidență, respectiv de deviere, pe limita de separație.

Echipamentul folosit în prospecțiunea seismometrică este foarte complicat, de fapt cel mai complicat dintre toate metodele geofizice.

Pentru producerea cîmpurilor de unde elastice se folosesc explozii cu cantități relativ mici de exploziv care se produc în găuri burate, săpate cu instalații autopurtate de foraj sau manual; condiția este ca explozia să aibă loc în roca vie, respectiv gaura să depășească grosimea stratului de suprafață care este caracterizat prin viteze mici, fiind constituit din roci slab consolidate — în general cuaternare — sau alterate.

Înregistrarea sosirii la suprafață a undelor elastice deviate de diferite limite de separație din subsol se face pe o seismogramă, pe care se poate determina atît momentul exploziei cît și sosirile diferitelor unde. Obținerea acestor înregistrări se realizează, pentru un punct oarecare situat la o distanță anumită de punctul de explozie, folosind un canal seismic și o cameră de înregistrare. Un canal seismic este compus dintr-un geofon (traductor de semnal care transformă oscilațiile solului apărute în momentul sosirii undei în variații de curent electric) plasat în punctul respectiv, cablu electric, o aparatură de prelucrare a semnalului (amplificatoare, filtre, regulator de amplitudine, mixer etc.) și un galvanometru (traductor de semnal care transformă variațiile de curent electric din nou în deplasări). Camera de înregistrare conține un tambur acționat de un motor electric, pe tambur derulîndu-se o bandă de hîrtie fotosensibilă sau un film foto pe care cade spotul luminos reflectat de oglinda galvanometrului, un marcator de timp și alte elemente cu funcțiuni auxiliare. Cu o astfel de aparatură se obține o înregistrare oscilografică.

Mai nou a fost realizată aparatură seismică cu înregistrare magnetică, analogică sau digitală. Diferența dintre acestea și cea cu înregistrare oscilografică constă în faptul că la canalul seismic galvanometrul este înlocuit cu un cap electromagnetic de înregistrare și, semnalul seismic brut, fără a fi prelucrat electronic, este înregistrat direct pe o bandă magnetică ce reprezintă acum magnetoseismograma. Prelucrarea magnetoseismogramei are loc într-un analizor care permite să se realizeze o serie de prelucrări (filtrări, amplificări, convoluții, auto și retrocorelații etc.) și transformate în reprezentări grafice cu ajutorul unui cap de redare.

Prospecțiunea seismometrică se execută pe profile liniare, constituite din dispozitive succesive. Un dispozitiv conține un punct de explozie și o serie de puncte de înregistrare, echidistante și situate la intervale diferite în funcție de metoda folosită — *refracție* sau *reflexie* — și de numărul canalelor echipamentului de înregistrare care poate fi, în general, între 6 și 48.

În geologia minieră se folosesc ambele variante ale prospecțiunii seismometrice.

Pentru acumulările reziduale de bauxită sau pentru masivele de sare, mai eficientă este varianta bazată pe refracția undelor elastice. În acest caz se folosește unda directă, care se propagă prin limita aer/sol și unda frontală care se propagă prin limita de separație cu viteza mediului inferior v_2 . În ipoteza că limita de separație este orizontală, iar mediile sînt omogene și izotrope din punct de vedere elastic, timpîi

solare, a vegetației de la suprafață și a reliefului topografic. Rezultatele sînt consemnate în hărți cu curbe de egală valoare sau profile de variație a temperaturii, ambele reprezentînd forme de exprimare grafică a informației geofizice furnizată de această metodă.

2.2.7. TELEDETECTIA

Teledetectia reprezintă un complex de tehnici și tehnologii care urmăresc obținerea de la distanță a unor informații asupra Pămîntului, unor planete, spațiului aerian și a celui interplanetar. Fenomenele fizice pe care se bazează sînt reflexia, refracția și absorbția undelor electromagnetice, precum și emisii ale acestora de către anumite corpuri ca urmare a interacțiunii cu ele.

După cum este cunoscut, spectrul de frecvență, respectiv de lungimi de undă λ , al undelor electromagnetice este foarte mare și acesta se împarte în cîteva zone distincte și anume: radiația γ ($\lambda < 0,1 \text{ \AA}$); radiația X ($\lambda = 0,1 \text{ \AA} - 100 \text{ \AA}$); radiația ultravioletă ($\lambda = 100 \text{ \AA} - 4000 \text{ \AA}$); radiația luminoasă sau spectrul vizibil ($\lambda = 0,400 - 0,750 \text{ \mu m}$); radiația infraroșie ($\lambda = 0,750 - 100 \text{ \mu m}$); unde ultracurte sau radar ($\lambda = 100 \text{ \mu m} - 140 \text{ cm}$); unde radio (λ de la 140 cm pînă la cîteva sute de km).

Ne vom opri atenția numai asupra aplicației teledetectiei la studierea Pămîntului. Sursa principală de energie a suprafeței Pămîntului o constituie energia radiată de către Soare. Suprafața terestră reflectă, absorbe și emite energie. Din energia primită de la Soare numai 22% este înapoiată ca radiație difuză de către scoarța terestră, restul fiind absorbit de atmosferă și spațiul cosmic. La aceasta se mai adaugă, în situații favorabile, energia termică ce provine din interiorul Pămîntului.

Această energie prezentă la suprafața terestră este înregistrată de la distanță cu echipamente adecvate, denumite *captoři-sensori*. Captoři pot fi *fotografici* (camere fotografice normale, metrice sau dispozitive fotografice multispectrale), *radiometre* (în domeniul vizibil, infraroșu sau sisteme termovizion) și *spectrometre*. Sensorii pot fi *de baleiere* (optico-mecanică, în infraroșu, în ultraviolet și multispectrală), *de televiziune* (camere de televiziune sau sisteme de foto-televiziune) și *radar*. Se disting două tipuri de senzori: *pasivi*, atunci cînd aceștia înregistrează energia naturală provenită de la obiectul de studiu și *activi*, cînd se transmit impulsuri către obiect și se primește răspunsul acestuia, cum este în tehnicile radar și sonar.

Echipamentele de înregistrare sînt plasate pe platforme, la o distanță oarecare de suprafața Pămîntului. Aceste platforme pot fi aeriene (baloane, avioane, elicoptere, dirijabile, planoare) sau spațiale (circumterestre fără sau cu oameni la bord și extra-terestre, pînă în prezent fără oameni la bord).

În teledetectie se folosește atît fotografia convențională — în alb-negru și color — cît și cea neconvențională — spectrozonală, multispectrală, fals color și color compus; de asemenea, este utilizată preluarea nefotografică a imaginilor, prin înregistrarea radiațiilor în scopul realizării de imagini multispectrale, avînd la bază conversia energiei radiației electromagnetice în semnale electrice.

Datele înregistrate de la distanță sînt stocate sub formă de imagini fotografice sau pe benzi magnetice. Se disting *stocări analogice* — fie fotografii, fie benzi magnetice care prin prelucrare ulterioară se transformă în fotografii alb-negru, color convențional sau natural —, precum și *stocări digitale* care de asemenea se transformă în astfel de imagini fotografice sau în listaje de valori.

Reiese, din cele de mai sus, că informația geofizică obținută prin teledetectie este reprezentată de fotografii sau liste de valori.

Interpretarea acestor informații se face fie cu ochiul liber, prin studiere directă sau cu instrumente optice în sistem stereoscopic ori monoscopic, fie pe bază de programe pe calculatorul electronic. În toate cazurile se folosesc modele de interpretare stabilite cu ajutorul unor zone-test de pe suprafața Pămîntului, avînd caracteristici cunoscute sau alese în mod deliberat.

În concluzie, se poate spune că teledetectia reprezintă un complex de activități constînd din înregistrarea de la distanță a radiației electromagnetice de către un sensor, transformarea acesteia în imagini fotografice sau în semnale electrice, transmiterea lor către memoria unui calculator electronic, prelucrarea, corectarea și transformarea tot cu ajutorul calculatorului în imagine vizuală, selecționată sau clasificată și interpretarea acesteia prin comparare cu eșantioane avînd caracteristici definite.

Aplicațiile teledetectiei în geologie sînt încă relativ restrînse. Pe lîngă fotointerpretarea aerofotogramelor care aduce elemente în sprijinul cartării geologice (diferențierea litologică a straturilor, stabilirea poziției lor, determinarea falilor și fracturilor etc.), mai importante sînt următoarele:

— interpretarea înregistrărilor în infraroșul termic ($\lambda = 3 - 20 \text{ \mu m}$) care pune în evidență diferențele și variațiile de temperatură și umiditate la suprafața terestră sau din profunzime, reflectînd inerția termică a diferitelor tipuri de roci sau de acumulări de substanțe minerale utile;

— interpretarea imaginilor și mezaicurilor realizate prin folosirea radarului, care pun în evidență unele trăsături liniare ale structurii geologice, mai pronunțat marcate decît pe fotografia aeriană, legate de falii, fracturi sau forme plicative de cutare.

Principalele informații de teledetectie au fost obținute prin *programul Landsat* (sateliții ERTS-1 lansat în 1972, EROS în 1975 și Landsat 3 în 1978, cu orbite circumterestre la circa 900 km înălțime față de suprafața Pămîntului). Ca rezultate mai importante, pînă acum se pot menționa delimitarea unor zone hidrotermale cărora le sînt asociate depozite minerale în Nevada (S.U.A.), studierea și testarea caracteristicilor reflectate în teledetectie de zăcămintele de cupru din Pakistan care au fost apoi folosite pentru descoperirea de noi mineralizații și altele.

Teritoriul țării noastre, este acoperit în întregime, cu 25 de imagini obținute prin sateliții *Landsat* 1, 2 și 3, iar interpretarea geologică a acestora este în curs de realizare.

2.2.8. CERCETĂRI GEOFIZICE ÎN SUBTERAN

O categorie aparte de măsurători geofizice, care nu mai au caracter propriu-zis de prospecțiune și pe care am putea-o numi *geofizică de mină* (Botezatu, 1971), o reprezintă cercetările geofizice în subteran, respectiv în puțuri, galerii și orizonturi miniere, suitori și planuri înclinate. Scopul principal al acestor măsurători este de a obține informații suplimentare asupra dezvoltării spațiale a mineralizațiilor traversate de astfel de lucrări, precum și asupra existenței eventuale a unor alte acumulări minerale nepuse încă în evidență și situate în orice direcție a spațiului, în raport cu lucrările miniere existente, pînă la distanțe de investigație corespunzătoare performanțelor aparaturii și tehnicii de lucru existente la un moment dat.

Față de lucrările de prospecțiune, cele efectuate în subteran se lovesc de la început de o dificultate principială și anume: în prospecțiune, cîmpurile fizice măsurate sînt produse de obiecte geologice cu rol de surse de potențial situate în subsol, deci într-un semispațiu 2π , în timp ce în cazul cercetărilor în subteran măsurătorile se

efectuează chiar în interiorul, lateral sau dedesubtul surselor de potențial, așadar într-un spațiu întreg 4π . Această situație implică o serie de complicații de natură teoretică privind semnificația mărimilor fizice determinate, precum și necesitatea introducerii unor corecții și forme de reprezentare grafică specifice acestui gen. de măsurători geofizice.

Aparatura folosită pentru cercetările geofizice în subteran este aceeași care se utilizează și în metodele de prospecțiune; tehnicile de lucru sînt însă modificate, adaptate condițiilor din subteran.

Măsurătorile geofizice cele mai larg folosite în subteran sînt cele radiometrice. De altfel, radiometria nu se limitează numai la faza de prospecțiune de la suprafață, ci însoțește, continuu — servind ca un mijloc rapid de control — toate lucrările, începînd cu explorarea și apoi cu exploatarea, sortarea masei miniere utile și eliminarea sterilului și terminînd cu determinarea indirectă a conținutului producției miniere.

Măsurătorile magnetice practic sînt imposibil de efectuat în subteran din cauza prezenței masive a unor obiecte de fier (șine de cale ferată îngustă, vagoane, scule, conducte de aeraj, cabluri electrice și altele).

Cercetările gravimetrice nu au astfel de limitări, așa încît acestea se pot efectua cu relativ destul de mult succes, deși comportă calcule foarte laborioase îndeosebi pentru reducerea efectelor create de excavațiile miniere. Pe baza unor astfel de măsurători în puțuri și galerii la mai multe nivele, ca și în orizonturile miniere, se pot construi hărți gravimetrice de orizont și secțiuni gravimetrice verticale cu ajutorul cărora se pot obține indicații utile asupra delimitării în spațiu a corpurilor geologice care au produs anomaliile gravimetrice ce au fost cartate la suprafață.

Rezultatele cele mai valoroase se obțin prin măsurători electrometrice. Acestea pot fi făcute folosind metoda potențialului natural, urmîrind corelarea anomaliilor din subteran cu cele determinate la suprafață, pentru stabilirea unor criterii de discriminare între anomaliile produse de mineralizații de interes economic și cele produse de disseminări neimportante sau de alte cauze neinteresante cum sînt rocile grafitoase sau unele tipuri de roci porfirogene, zone de caolinizare puternică și altele. De asemenea, metoda rezistivităților poate aduce în unele situații informații deosebit de interesante, ca de pildă folosind o variantă de concepție românească a sondajului electric de rezistivitate; aceasta este reprezentată de sondajul electric cu orientare de investigație dirijată pe direcții orizontale sau verticale față de axa galeriei și construirea de secțiuni geoelectrice care dau indicații asupra surselor de anomalii electrice situate lateral față de pereții galeriei, deasupra sau dedesubtul acestora. Folosind în afară de rezistivitatea aparentă și parametrii polarizației induse, spectrul informațional este sensibil îmbunătățit.

Metodele electromagnetice încorporează și o variantă specifică lucrărilor în subteran numită *metoda umbrei electromagnetice* sau *metoda transparenței*.

Această metodă se bazează pe proprietatea pe care o au mediile bune conductoare de electricitate de a avea un coeficient mare de absorbție a undelor electromagnetice de înaltă frecvență, respectiv cu frecvențe de ordinul de mărime al undelor radio. În aceste condiții, undele electromagnetice vor străbate relativ ușor rocile cu conductibilitate electrică mică, însă nu vor putea străbate aproape de loc corpurile de mineralizații metalifere care se găsesc eventual în astfel de roci, între două orizonturi miniere sau între cel superior și suprafață. Pentru localizarea acestor corpuri se folosesc cadre emițătoare și receptoare plasate succesiv la două nivele, prezența corpului conductor producînd un con de umbră în care semnalul transmis nu se manifestă în cadrul receptor. Prin inversarea plasării cadrelor emițătoare cu cele receptoare se obține un al doilea con de umbră, la intersecția celor două conuri, între cele două orizonturi

miniere putîndu-se localiza corpul cu mineralizație metaliferă la un grad de încredere ridicat.

Celelalte metode geofizice, ca cea seismometrică sau geotermică de pildă, nu au cunoscut decît încercări sporadice de aplicare, cu rezultate nu întotdeauna concludente.

Marile avantaje ale cercetărilor geofizice în subteran sînt pe de o parte că ele se efectuează la distanțe relativ mici față de acumulările de substanțe minerale utile, ceea ce se reflectă într-o intensitate mai ridicată a anomaliilor și o localizare mai precisă a cauzelor care le produc, și pe de altă parte, că rezultatele unor astfel de cercetări pot fi repede controlate prin foraje GP sau nișe, astfel încît pot servi la orientarea mai judicioasă a lucrărilor de explorare și de exploatare.

2.3. ÎNTERPRETAREA GEOLOGICĂ A INFORMAȚIILOR GEOFIZICE CONDIȚIONATE DE ACUMULĂRILE DE SUBSTANȚE MINERALE SOLIDE

În esență, interpretarea geologică a informației geofizice, respectiv — așa cum a fost definită — a suportului material al mesajelor fizice și geologice provenite din subsol, reprezintă transformarea acesteia într-un model al structurii geologice ascunse sau a acumulărilor de substanțe minerale utile pe care ea le conține. Practic este vorba de a determina localizarea în subsol, forma și dimensiunile, natura și tipul geologic-mineralogic și, în general, de a stabili o imagine cît mai completă asupra obiectului sau obiectelor geologice de prospectat, inaccesibile observației geologice directe, din niște informații geofizice, ca rezultat al unor măsurători de cîmpuri fizice efectuate și raportate la suprafața Pămîntului.

Din cauza acestei situații particulare în care geofizicianul își desfășoară activitatea sa, apare necesitatea ca el să opereze cu *modele geofizice*. De la început trebuie să ne fie clar că pentru a construi un model este necesar a simplifica. Se impune, de asemenea, ca aceste modele să fie flexibile, versatile, să aibă caracteristici care pot fi repede și ușor testate pe baza informațiilor geofizice, petrofizice și geologice de care dispunem. Dacă potrivirea nu este bună, atunci modelul trebuie modificat, uneori printr-un proces de aproximații succesive, pînă cînd va corespunde cel puțin în limite acceptabile. Un astfel de model geofizic va fi folositor numai atunci cînd va fi capabil să reproducă cele mai semnificative trăsături caracteristice ale informațiilor de la care s-a plecat la elaborarea și optimizarea lui.

Privit pe un plan foarte general, un model este pur și simplu un set ordonat de prezumții referitoare la un sistem complex. Prin selectarea, pe baza percepțiilor și a unei experiențe acumulate, a unui grup de observații generale aplicabil la o anumită problemă se face o încercare de înțelegere a informației de la care se pleacă. Un model geofizic reprezintă încorporarea teoriei și a informațiilor obținute experimental, furnizate de prospecțiunea geofizică. Din necesitate, el trebuie să reprezinte un compromis între simplitate și realitate. Niciodată nu va putea fi un model atotcuprinzător, deoarece realitatea geologică este întotdeauna foarte complexă și complicată. Rolul principal al modelului geofizic este de a explica semnificația geologică a informațiilor obținute pe cale indirectă. Ca orice model, în oricare din științele experimentale, el rămîne totuși imperfect, suprasimplificat și nefinisat, reprezentînd — în ultimă instanță — o copie incompletă, cu caracter simulativ, a realității geologice.

Modelele geofizice pot fi de două feluri și anume:

— calitative, atunci când se bazează pe corelații și speculații logice, deci operații pur mintale, transpuse apoi într-un text explicativ;

— cantitative, atunci când la cele de mai sus se adaugă determinări de formă, dimensiuni, adâncimi etc. pe baza unor calcule privind sursele de anomalii geofizice și de efecte ale acestora care se compară cu anomaliile cartate până la obținerea unei concordanțe satisfăcătoare între ele.

Forma de prezentare a modelelor geofizice, conținând caracteristicile principale ale acestora, este întotdeauna grafică, adaptată și paralelizată formelor de reprezentare folosite în activitatea geologică, respectiv secțiuni, hărți structurale, bloc-diagrame, machete etc. Prin astfel de forme de reprezentare grafică modelul geofizic de simulare se încadrează în suita modelelor construite numai pe baza informațiilor geologice, contribuind la creșterea gradului de înțelegere și de cunoaștere a structurii geologice ascunse a subsolului.

În cele ce urmează vom prezenta câteva cazuri de interpretare geologică a informațiilor geofizice pentru principalele grupe de substanțe minerale utile solide care fac obiectul activității miniere.

2.3.1. MINERALIZAȚII DE METALE FERROASE

În această grupă sînt incluse în primul rînd mineralizațiile de fier și de mangan; tot din aceasta fac parte și cele de titan, crom, nichel, vanadiu, cobalt, molibden și altele. La detectarea unor astfel de mineralizații prin metodele geofizice pot fi folosite — după caz, în funcție de tipurile de componente minerali principali și secundari, de conținuturile acestora și de natura formei de zăcămint pe care o au — metodele magnetometrică, electrometrică, radiometrică sau gravimetrică.

În mod normal, mineralizațiile de siderit nu pot fi puse în evidență prin magnetometrie deoarece acest mineral are o valoare foarte redusă a susceptibilității lui magnetice, practic comparabilă cu cea a rocilor care le găzduiesc. În zona Ruschița din Masivul Poiana Ruscă, mineralizațiile de fier, sub formă de lentile stratiforme concordante cu șisturile cristaline în care se găsesc încorporate, sînt constituite din siderit cu o cantitate redusă de magnetit, la partea superioară sideritul trecînd în limonit, iar la cea inferioară în ankerit. Lentilele au dimensiuni mici și prezintă o dispersare mare în suprafață. În sectorul Pîrîul Nisipului — Ruschița, așa cum a arătat Bărbat (1958), datorită faptului că mineralizația de siderit conține puternice impregnații de magnetit și pirită, aceasta produce anomalii magnetice intense depășind, ca variație totală, 10 000 γ . În fig. X.40 este reprodus exemplul a două astfel de lentile de siderit.

Un caz foarte interesant de reflectare în informațiile geofizice a unor mineralizații de fier și mangan îl reprezintă acumulările reziduale din zona Moneasa-Vaşcău, Munții Apuseni. Acumulările se găsesc situate pe reliefurile carstice negative (doline, paleovăi) ale calcarelor și dolomitelor triasice umplute cu nisipuri, argile și tufuri vulcanice de vîrstă terțiară, peste care se găsește parțial o pătură de sol.

Mineralizația este constituită de un orizont inferior manganos (piroluzită, manganit fibros, hauerit etc.) și de unul superior — cu unul sau chiar două nivele — feruginos (limonit, hematit, argilă feruginoasă, oolite feruginoase etc.) și se prezintă sub formă de blocuri dispersate în masa argilelor, tufurilor și nisipurilor.

Cercetarea electrometrică (Bărbat, 1950), a conturat în bune condițiuni, prin minime ale rezistivității aparente ρ_a , forma și dimensiunile cuvetelor cu umplutură de depozite terțiare groase în care sînt șanse să existe acumulări de mineralizații. În fig. X.41 este reprodus un profil al variației ρ_a în paralel cu secțiunea geologică, din care se poate observa ușor corelația dintre informația electrometrică, relieful calcarelor și prezența mineralizațiilor de fier și de mangan. Informația magnetică, obținută ulterior (Bărbat, 1958), a localizat prin anomalii ΔZ dipolare cu intensitate totală de ordinul a 1000 γ sectoarele în care este prezentă mineralizația.

Acumulările de oxizi de fier și, îndeosebi cele de magnetit, sînt întotdeauna prospectabile geofizic pe cale magnetică.

Un exemplu concludent în acest sens îl reprezintă cazul lentilelor de magnetit din zona Băișoara—Mașca, Munții Apuseni, genetic legate de produsele magmatismului banatic. Aceste produse, sub formă de corpuri intrusive granodioritice din care se desprind, datorită diferențierilor magmatice, dyke-uri și silluri de andezite și dacite, au transformat rocile de la contactul cristalin/sedimentar. Urmare acestor transformări au luat naștere corneene impregnate cu pirită, blendă, galenă, calcopirită și pirotină, precum și skarne cu magnetit și pirotină. De importanță economică, cel puțin deocamdată, sînt în primul rînd lentilele pirometasomatice de magnetit localizate

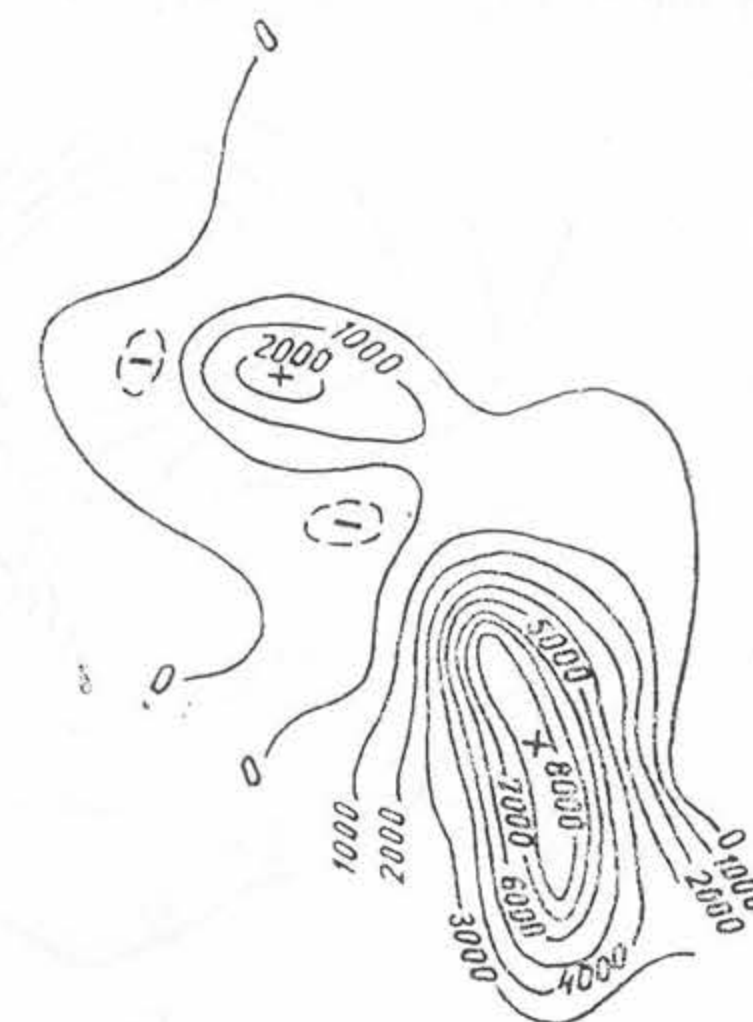


Fig. X.40. Imaginea anomaliilor magnetice ΔZ în zona Pîrîului Nisipului — Ruschița (după T. Bărbat, 1958).

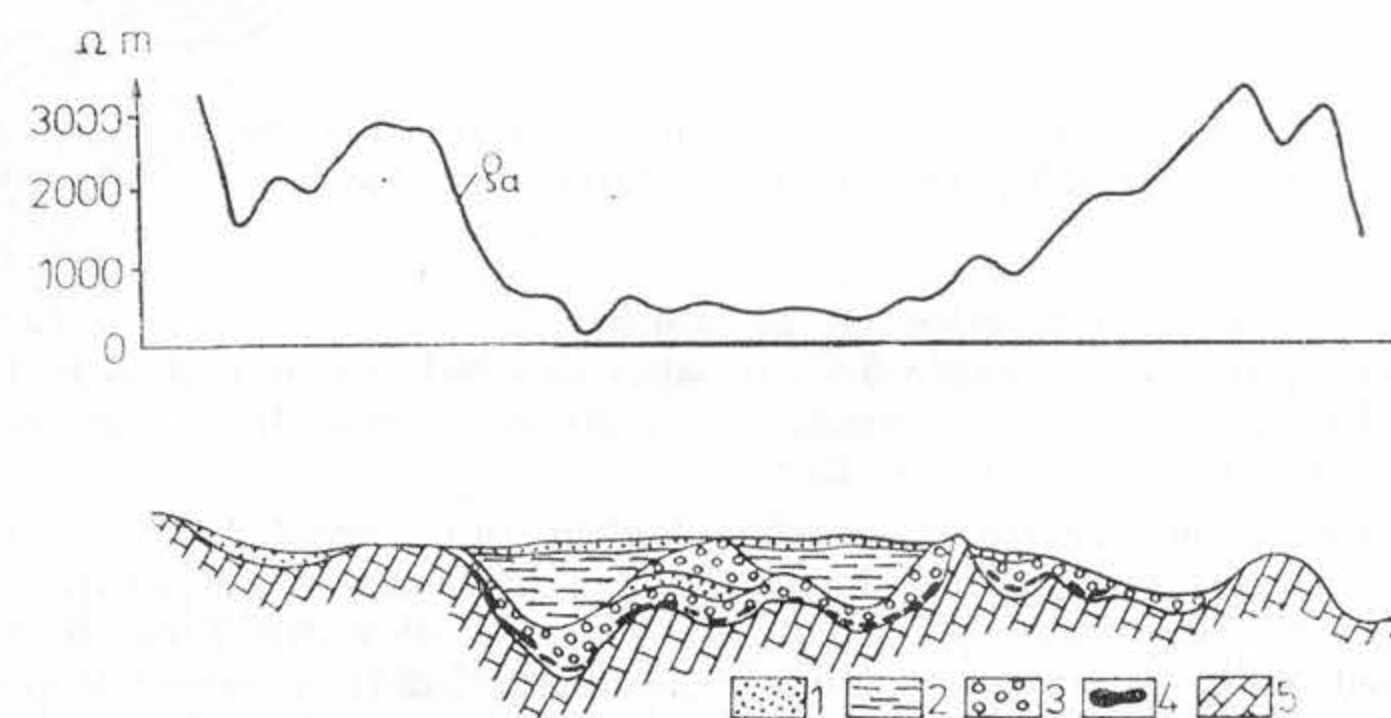


Fig. X.41. — Secțiune longitudinală prin zăcămintul rezidual de fier și mangan de la Corbu, zona Moneasa-Vaşcău, în paralel cu variația rezistivității aparente ρ_a :

1 — sol; 2 — argilă caolinoasă; 3 — minereu de fier; 4 — minereu de mangan; 5 — calcar (după T. Bărbat, 1950).

în skarne. După cum a fost arătat (Romanescu, 1964), deoarece susceptibilitatea magnetică a banatitelor din această zonă are o valoare foarte scăzută și practic comparabilă cu cea a rocilor cristaline și a celor din cuvertura sedimentară, singura sursă de anomalii magnetice o reprezintă lentilele de magnetit în contrast de sute pînă la zeci de mii de unități de susceptibilitate. Acestea, în funcție de mărimea și adîncimea



Fig. X.42. Imaginea anomaliilor magnetice din zona centrală a zăcămintului de fier Băișoara- Mașca (după D. Romanescu, 1964).

lor, au generat anomalii magnetice cu intensități de cîteva mii de γ care au servit ca bază pentru proiectarea explorării și apoi deschiderea exploatării miniere din această zonă. În fig. X.42 este reprodusă imaginea anomaliilor magnetice din partea centrală a acestui zăcămint de fier.

Forma foarte neregulată a acestor lentile pune probleme grele explorării și exploatării lor. O încercare de îmbunătățire a eficienței acestor activități a fost făcută prin cercetările gravimetrice efectuate în subteran de către Rusu și Sava (1977). Acestea au constatat din determinarea unei secțiuni gravimetrice verticale prin Puțul 2). Băișoara și cele cinci galerii transversale de la orizonturile 80, 120, 160, 200 și 240, la care se adaugă profilul de la suprafață. Informația gravimetrică în această zonă a fost avantajată de faptul că contrastul de densitate dintre lentilele de mineralizații și rocile netransformate prin procesele de metasomatism de contact este foarte mare, atingînd valoarea de $2,00 \text{ g/cm}^3$. În fig. X.43 este reprodus rezultatul acestor cercetări,

din care reiese că mineralizația prezentă între orizonturile 80 și 200 are o extindere mai mare atît pe verticală față de cea cunoscută din lucrările miniere, cît și lateral pe direcția perpendiculară, în ambele sensuri, față de planul secțiunii.

Rezultate concludente a adus informația magnetică și pentru mineralizațiile de fier de la Palazul Mare, Dobrogea, de la Poiana Iazuri din Masivul Poiana Ruscă, pentru cele de magnetită titaniferă și vanadiferă de la Ciungani-Căzănești din Apusenii de sud și altele.

Cercetările geofizice efectuate în Delta Dunării și în zona acvatorială de pe platforma continentală din fața acesteia au scos în evidență capacitatea radiometriei de a pune în evidență acumulările de minerale grele din nisipurile aluvionare, interesante economic pentru conținutul lor în titan și zircon. În fig. X.44 este reprodusă imaginea anomaliilor radiometrice din zona grindului Sărăturile, situat la nord de localitatea Sf. Gheorghe-Deltă, generată de o astfel de zonă de concentrare, care este dublată de o a doua zonă de maxim radiometric paralelă și situată la distanța de circa 1,5 km

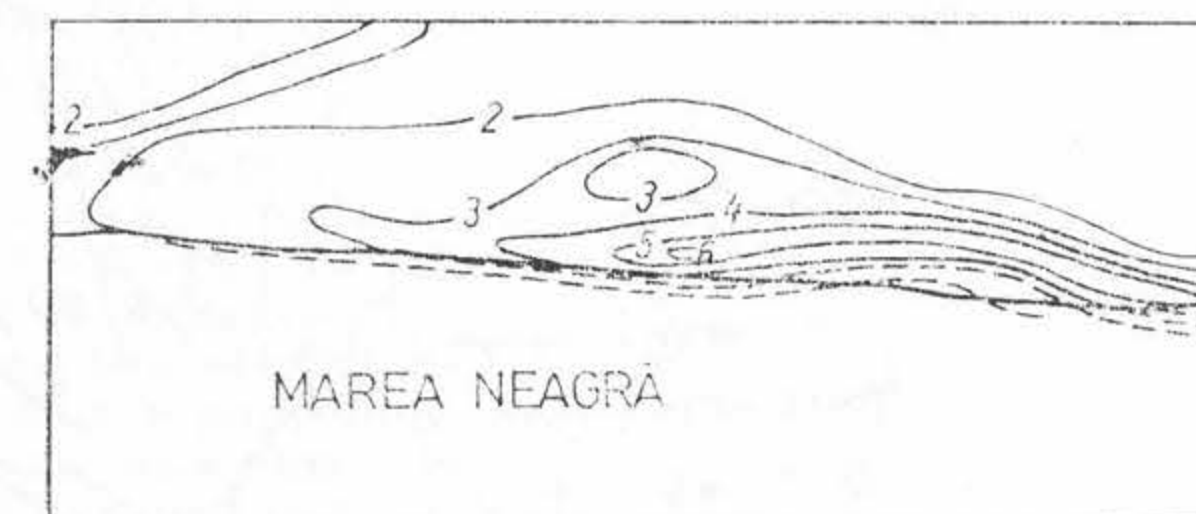
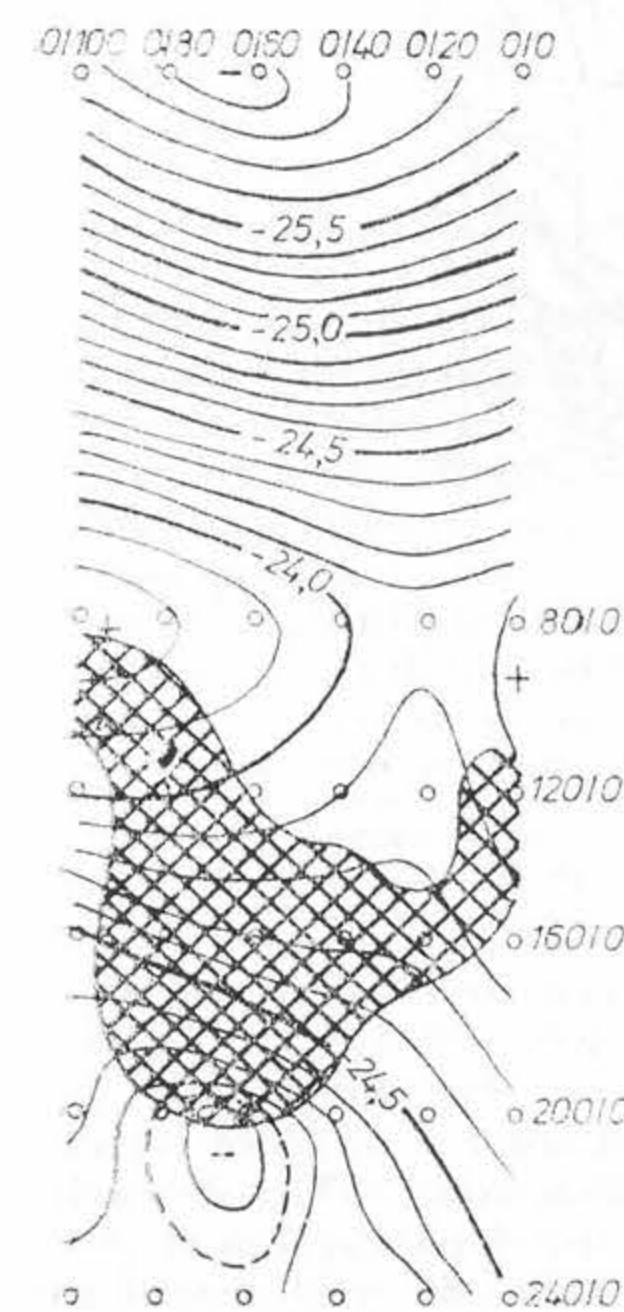


Fig. X.44. Imaginea anomaliilor radiometrice produsă de acumularea de minerale grele din grindul Sărăturile (după E. Brătășanu et al., 1972).

Fig. X.43. — Secțiune gravimetrică verticală prin Puțul 2 Băișoara și extinderea probabilă a mineralizației de fier în planul secțiunii (după D. V. Rusu și C. S. Sava, 1977).

în Marea Neagră (Brătășanu et al., 1972). Cauza acestor anomalii este prezența în asociația de minerale grele a monazitului și zirconului, care împreună produc circa 75% din intensitatea radiației γ globale, restul fiind cauzat de celelalte minerale (ilemnit, magnetit, granați și altele); mai mult decît atît, s-a putut demonstra că există o dependență practic liniară între concentrațiile în titan și zircon și intensitățile cîmpului radiației γ globale (Gohn et al., 1972), ceea ce asigură o bază de evaluare în primă aproximare a importanței economice a acumulărilor după intensitatea anomaliilor radiometrice.

2.3.2. MINERALIZAȚII DE METALE NEFEROASE

În această grupă sînt cuprinse mineralizațiile de cupru, plumb, zinc, staniu și aluminiu, pentru a nu cita decît metalele mai importante, care pot fi prospectate cu ajutorul metodelor geofizice. Poate mai mult decît pentru orice alte feluri de minera-

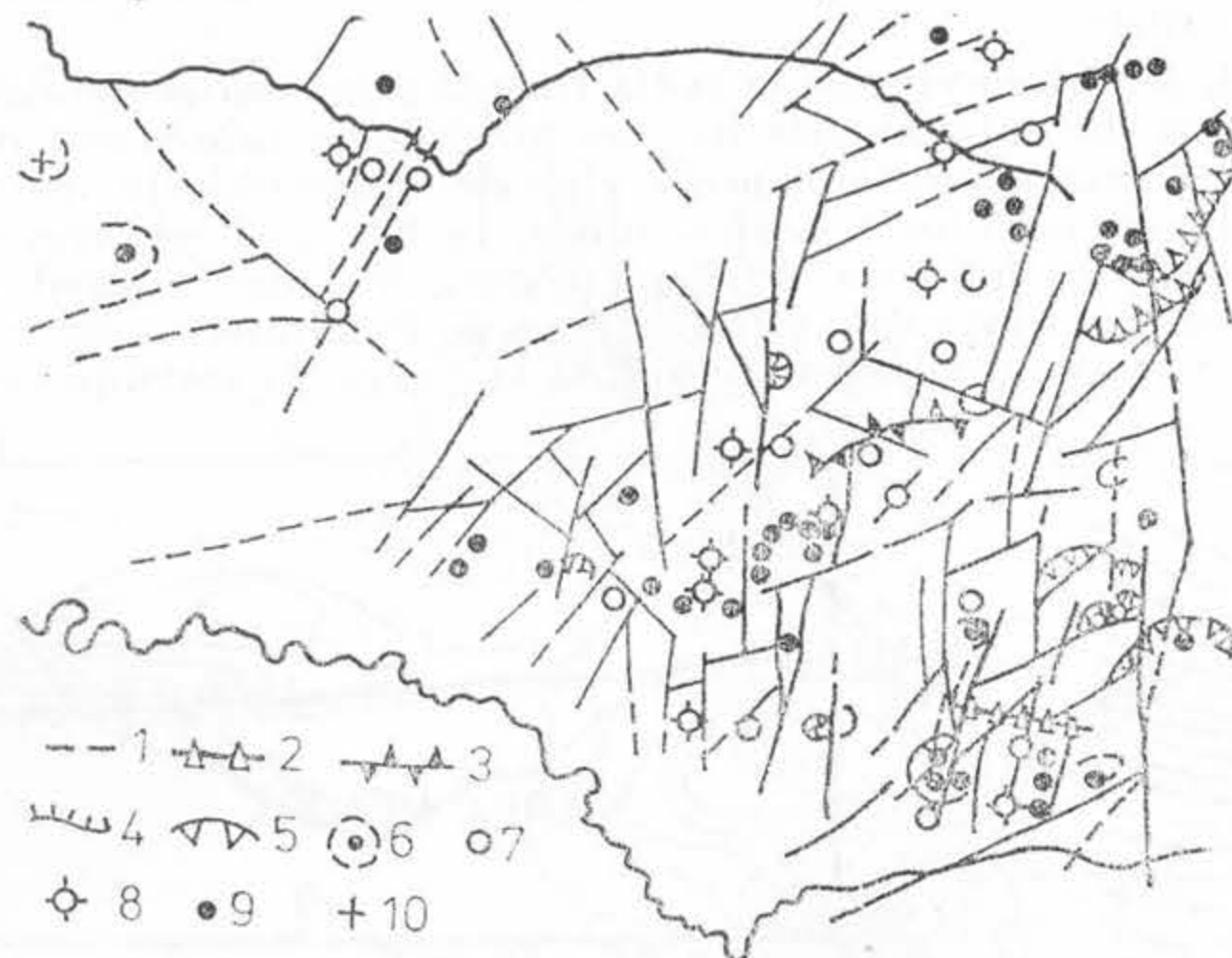


Fig. X.45. Modelul structurii geologice a Munților Gutii construit pe baza unei înregistrări multispectrale Landsat:

1 — accidente tectonice verticale; 2 — aliniamente de centre de erupție; 3 — aliniamente de curgeri divergente; 4 — fracturi de pinze de lave; 5 — limite de crater, calde; 6 — cripto-vulcani probabili; 7 — structuri vulcanice; 8 — aparate vulcanice; 9 — centre de erupție; 10 — centre de erupție probabile (după H. Zegheru și M. Albotă, 1979).

lizații, cele din grupa metalelor neferoase — și, îndeosebi, cele de afiliație magmatică și de tip hidrotermal — impun o prealabilă descifrare a structurii geologice pe cale geofizică, pentru a evalua șansele de existență a acestora. În acest sens, magnetometria și gravimetria au adus contribuții deosebit de importante în țara noastră, în toate regiunile constituite din vulcanite neogene (Botezatu et al., 1974; Botezatu, 1976); de curînd, la acestea s-a adăugat și teledetecția. În fig. X.45 este reprodus, după Zegheru și Albotă (1979), rezultatul unei interpretări geologice a informațiilor de teledetecție pentru zona vulcanitelor neogene din partea vestică a Munților Gutii, din care reiese natura informațiilor geologice obținute pe această cale.

Prospectarea geofizică a mineralizațiilor din grupa metalelor neferoase se realizează, în majoritatea cazurilor, prin diferite procedee electrometrice. Aplicarea gravimetriei, magnetometriei, seismometriei sau radiometriei este limitată, fiind posibilă numai la acele mineralizații care, fie ocupă volume importante în subsol, fie — prin geneza lor — cuprind și minerale care au proprietăți magnetice sau radioactive, ori se găsesc în situații specifice particular de favorabile.

Prospecțiunile geoelectrice prin metoda potențialului natural efectuate în bazinele Văii Vaser, între Novicior și Novăț, au pus în evidență o serie de anomalii de

minim a acestei mărimi, plasate pe formațiunile cristalofiliene epimetamorfice dintre eruptivul nou și formațiunile sedimentare de vîrstă eocenă din vest, care au fost interpretate ca efecte ale mineralizațiilor de sulfuri complexe (Mihail, 1976). Această interpretare a fost confirmată inițial prin lucrări miniere de suprafață și apoi prin lucrări subterane. Au fost astfel puse în evidență lentile de pirită și calcopirită, cu galenă și blendă, cu caracter masiv, avînd grosimi de pînă la 10 m și cu zone de impregnație adiacente, așa încît întreaga mineralizație, atinge grosimea de cca 40 m. Informația electrometrică a reușit, în această zonă, să pună în evidență continuitatea mineralizației de interes economic din Valea Bradului, către sud, pînă în Valea Novăț și să precizeze decroșările compartimentelor purtătoare de mineralizație.

În fig. X.46 este reprodusă imaginea anomaliilor din lungul Pîriului Bradului, afluent al Văii Novicior, din care reiese că mineralizația de sulfuri complexe în acest caz produce efecte intense de potențial natural, care depășesc -280 mV.

O situație destul de complicată o prezintă mineralizația de pirită cupriferă de la Altîn-Tepe, Dobrogea. Zăcămintul de la Altîn-Tepe face obiectul exploatării de multe decenii, iar primele prospecțiuni geofizice în vederea descoperirii de mineralizații în extinderea lui datează din anul 1926; practic însă, clarificarea perspectivelor în acest sens aparține ultimului deceniu, cînd gradul de rezoluție mai ridicat al aparatului și tehnicilor de lucru recente au permis aceasta.

Mineralizația de metale neferoase exploatată la Altîn-Tepe se prezintă sub formă de corpuri lenticulare și zone de impregnație, fiind găzduită de formațiunile cristaline mezometamorfice reprezentînd fundamentul regiunii care este acoperit transgresiv de șisturi verzi. Corpurile de minereu sînt concordante cu șistozitatea formațiunilor metamorfice și prezintă grosimi de ordinul metrilor pînă la zeci de metri, fiind înconjurare la periferia lor de zone de impregnație. Originea mineralizației este considerată mixtă, îmbogățirea în cupru fiind a unei mineralizații sedimentogene afectată de o activitate hidrotermală ulterioară, datorită soluțiilor hidrotermale care au circulat pe contactul dintre formațiunile mezometamorfice și șisturile verzi.

Prospecțiunile electrometrice efectuate prin metoda polarizației induse (Mihail și Simionescu, 1972) au pus în evidență, pe direcția nord-vest-sud-est, prin zăcămintul cunoscut și în extinderea lui spre nord-vest și spre sud-est, un aliniament de minime ale rezistivității aparente ρ_a , așa cum se poate vedea în fig. X.47. Zonele conductoare — cu șanse de existență a mineralizației — se prezintă ca minime cu valori de $600-800 \Omega m$, față de un nivel de fond al rezistivităților produs de rocile sterile care are valori de $1000-2000 \Omega m$. Cu unele decalaje, minimele rezistivimetrice sînt dublate de anomalii ale polarizabilității aparente η_a , cu caracter de maxim, avînd intensități de $7-8\%$ față de un fond de $1-2\%$. Imaginea informației obținută prin polarizația indusă este

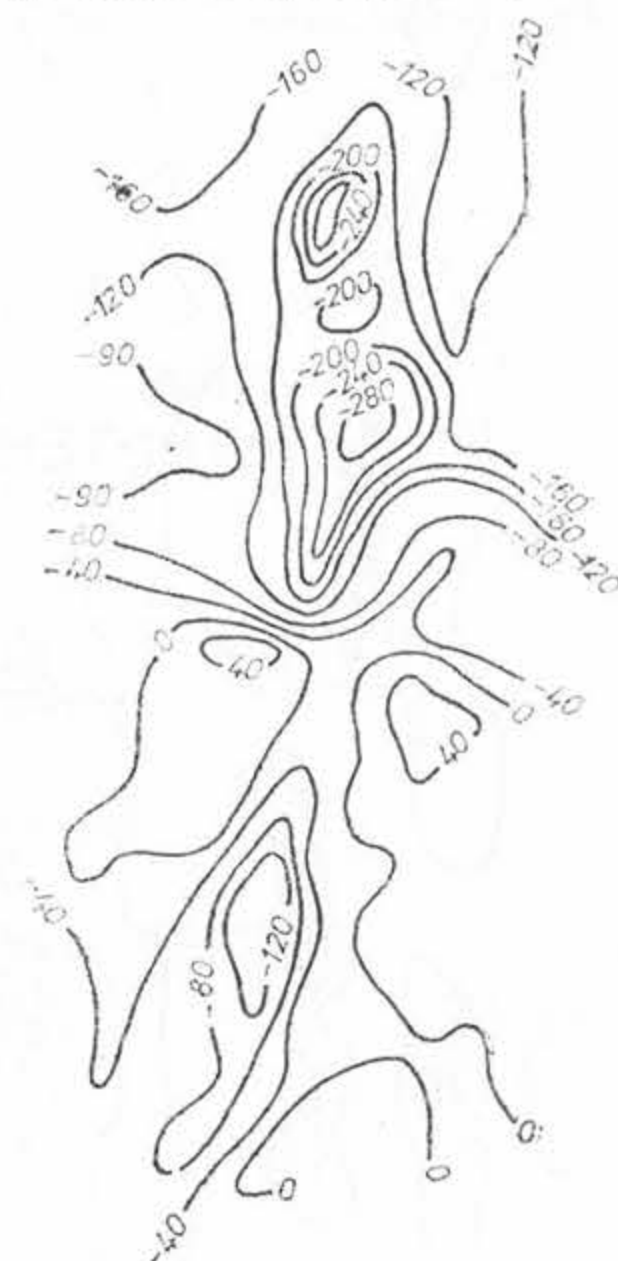


Fig. X.46. Anomalia potențialului natural în zona Novicior (P. Bradului) din Carpații Orientali (detaliu după Cr. Mihail, 1976).

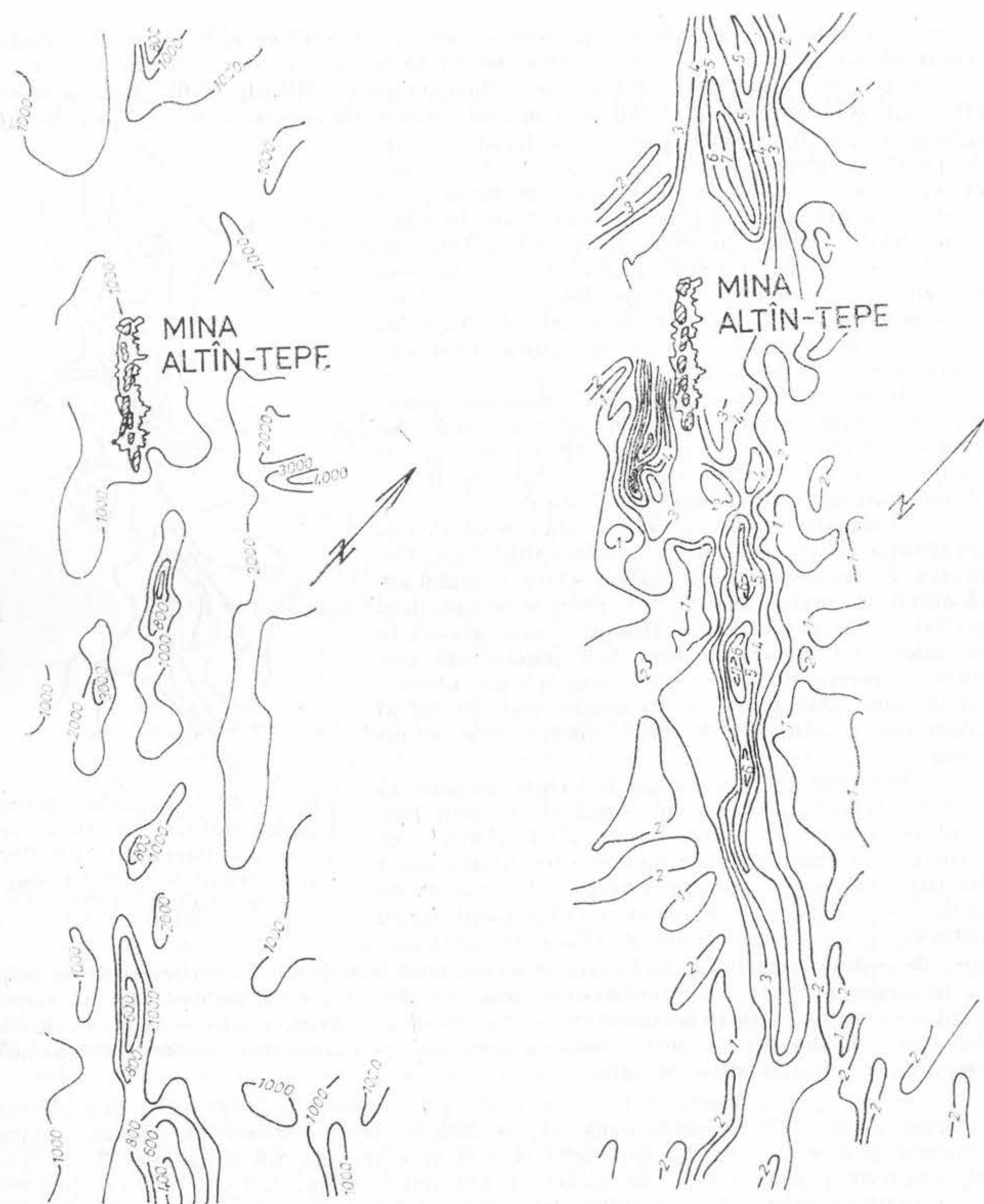


Fig. X.47. Imaginea anomaliilor rezistivității aparente ρ_a în zona Altin-Tepe (după Cr. Mihail și M. Simionescu, 1972).

Fig. X.48. Imaginea anomaliilor polarizabilității aparente η_a în zona Altin-Tepe (după Cr. Mihail și M. Simionescu, 1972).

reprodusă în fig. X.48. Corelația minim ρ_a — maxim η_a pledează pentru existența unor mineralizații disperse de sulfuri complexe care pot evolua spre lentile de minereu compact, ceea ce a fost confirmat de o serie de foraje executate în apex-ul principalelor anomalii electrometrice.

Un caz, de asemenea interesant, în care informația geofizică a adus o contribuție notabilă la orientarea lucrărilor de explorare, îl prezintă acela al mineralizației de

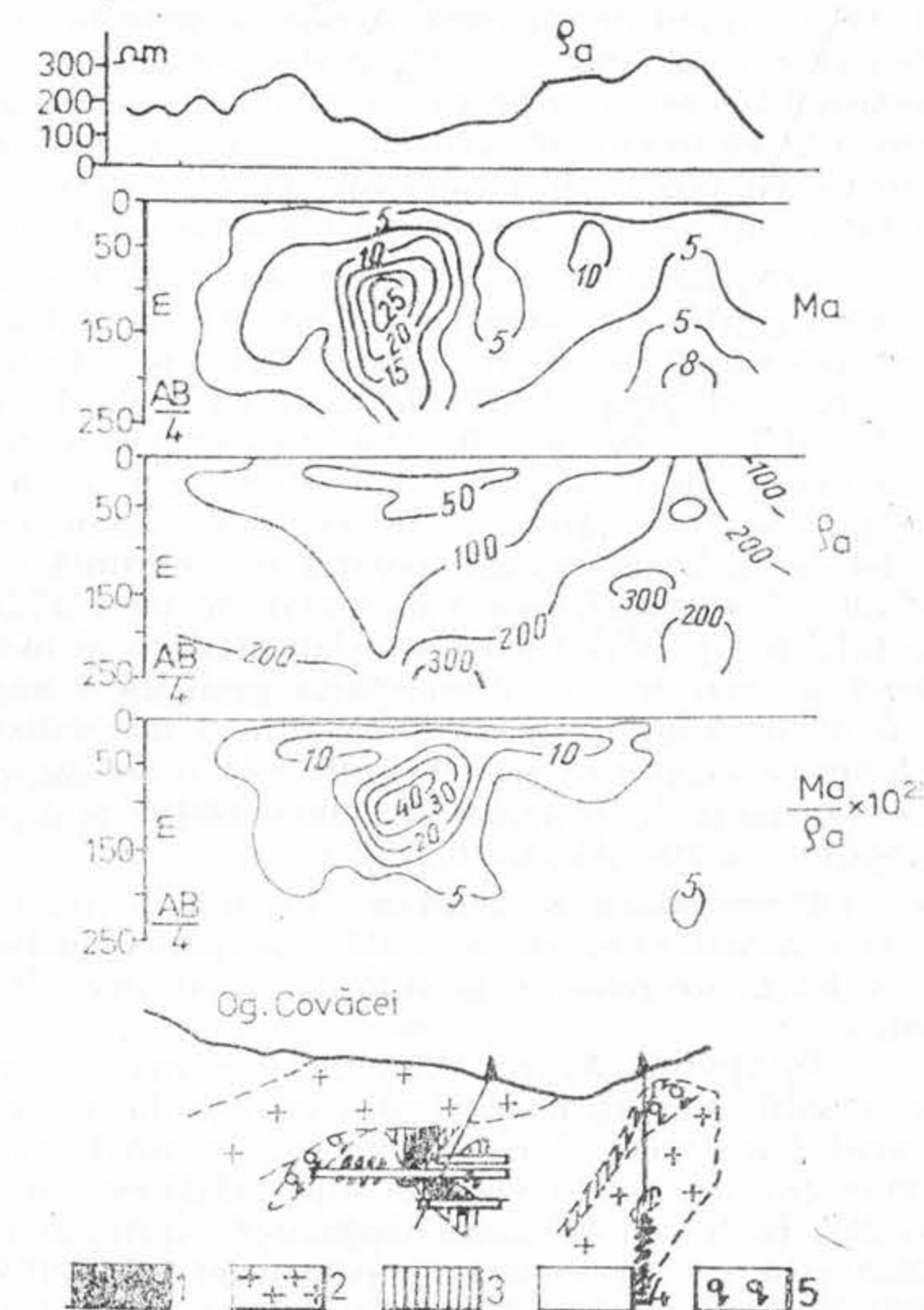


Fig. X.49. Informații geoelectrice și secțiunea geologică în sectorul Florimunda :

1 — mineralizație; 2 — granodiorit; 3 — skarn; 4 — calcare recristalizate; 5 — roci cuarțifere (după V. Văjdea și I. Stoica, 1968 — preluat de la R. Botezatu et al., 1976).

pirită și calcopirită din zona Sasca—Moldova Nouă din Banat. Aceste mineralizații sînt legate genetic de corpurile de granodiorite banatitice puse în loc în lungul liniei de încălecare a cristalinului de Locva peste umplutura sedimentară, mezozoică, a sinclinalului Reșița-Moldova Veche. Acumulările cele mai importante de sulfuri cuprifere sînt cantonate în skarnele de la contactul dintre banatite și rocile carbonatice mezozoice și apar sub formă de impregnații sau mineralizații masive, îmbrăcînd caracterul unor corpuri cu aspect neregulat; mineralizații disperse — unele de interes economic — se găsesc și în masa banatitelor și a calcarelor cristaline din vecinătatea corpurilor de magmatite. Astfel de zone mineralizate sînt cunoscute acum la Florimunda, Suvarov, Vărad, Valca Mare, Ogașul Băieșilor, Cărbunari, Stînăpari și altele.

Pentru exemplificarea naturii și conținutului geologic al informației electrometrice în cazul acestui tip de mineralizații, în fig. X.49 sînt prezentate rezultatele obți-

nute în sectorul Florimunda. După cum se poate remarca, principalul corp de minereu situat în skarnele din culcușul corpului banatitic de la vest, constituit din mineralizație cu caracter masiv, produce la suprafață un minim al rezistivității aparente ρ_a de circa 70 Ωm , față de o valoare de fond de ordinul a 250 Ωm . Secțiunile geoelectrice — construite pe baza sondajelor electrice verticale de polarizație indusă în domeniul timp — localizează în adâncime cu o precizie remarcabilă, prin raportarea valorilor parametrilor la $AB/4$, corpul de minereu. Acesta se reflectă în secțiunea geoelectrică prin maxime ale factorului de încărcare M_a și al raportului M_a/ρ_a (echivalent factorului metalic din domeniul frecvență) și printr-un minim al rezistivității aparente ρ_a . Anomalii de același sens, dar cu intensități mult mai reduse, marchează intervalele de mineralizație diseminată interceptate în forajul care traversează cel de-al doilea corp de banatit, situat la est de primul, de un interes economic secundar (Botezatu et al., 1976).

În ultimele două decenii, nevoile de metale neferoase ale omeniilor au crescut cu un ritm foarte alert, ceea ce a făcut ca interesul să se deplaseze către zăcămintele cu conținut scăzut în metal. Acestea reprezintă de fapt roci comune având în masa lor o cantitate de ordinul 0,2—0,5% de minerale de metale neferoase, disperse, dar care exploatabile în carieră — în condiții de tehnică minieră foarte avansată și cu excavarea unei mase miniere de ordinul a câteva zeci de milioane de tone anual — permit extracția unor cantități mari de metal la parametri tehnico-economici avantajoși. Un astfel de zăcămint în țara noastră îl reprezintă cel de la Roșia Poieni din Apusenii de sud. Zăcămintul este reprezentat de un corp subvulcanic constituit din andezit porfiric de tip Barza, silicificat, slab argilizat și mineralizat îndeosebi cu pirită, calcopirită și oxizi de fier. Prospectarea geofizică a acestui corp în vederea conturării lui și a delimitării zonelor de îmbogățire a mineralizației a demonstrat că în acest caz informația magnetică este mai eficientă decât cea electrometrică, datorită caracterului precumpănitor hidrotermal al mineralizației și asocierii calcopiritei cu magnetitul de aceeași generație (Botezatu, 1977).

Prospectarea geofizică a zăcămintelor de bauxită din țara noastră, având în vedere caracterul lor de acumulări reziduale în reliefurile negative ale unui fundament de calcare precetacice carstificate, pune acesteia probleme dificile și de natură diferită.

În Munții Pădurea Craiului (sectoarele Cornetu, Lunca Sprie, Zece Hotare etc.) acumulările au forma unor lentile mici și sînt acoperite fie de o pătură subțire de sol și argile bauxitifere, fie de o pătură mai groasă de calcare neocomiene care poate depăși 100 m grosime. Cînd cuvertura superficială este mai subțire, prospectarea acestora este posibilă pe baza informației magnetice, electrometrice și radiometrice, în unele cazuri chiar și a celei gravimetrice (Gavăț et al., 1973). Dacă însă cuvertura se îngroașă mult, atingînd grosimi de mulți metri sau chiar câteva zeci de metri și este constituită din calcare neocomiene (care nu se diferențiază prin nici o proprietate fizică față de cele tithonice), atunci singura informație geofizică valabilă pentru detectarea acestora rămîne cea electrometrică prin metoda polarizației induse. Polarizabilitatea acumulărilor de bauxită este datorată efectului de membrană, ca urmare a unui conținut în argilă destul de ridicat, așa cum a fost arătat de Tournier și Văjdea (1969). În fig. X.50 este reprodus după acești autori un exemplu din sectorul Cornetu.

În zona Ohaba Ponor din Munții Hațegului (sectoarele Murgoi, Fizești etc.), lentilele de bauxită silicioasă și de argilă bauxitiferă sînt situate în paleoreliefurile unor calcare urgoniene. Diferența dintre acestea și cele din Pădurea Craiului provine pe de o parte de la dimensiunile lor care sînt în general mult mai mari și, pe de altă parte, de la cuvertura de vîrstă aptian-cenomaniană reprezentată în general prin gresii și subordonat argile. Această situație geologică a impus ca cea mai eficientă metodă de

prospectare geofizică să fie în acest caz seismometria de refracție folosind unde elastice de înaltă frecvență. Studiul condițiilor seismologice, privind caracteristicile dinamice, coeficienții de absorbție și viteza undelor elastice a arătat diferențieri ale undelor frontale care alunecă pe suprafața gresii brune cenomaniene, a bauxitei și a fundamentului de calcare urgoniene (Spănoche et al., 1972), ceea ce a permis separarea lor cu destul de mare ușurință. În fig. X.51 este reprodusă imaginea suprafeței calcarelor

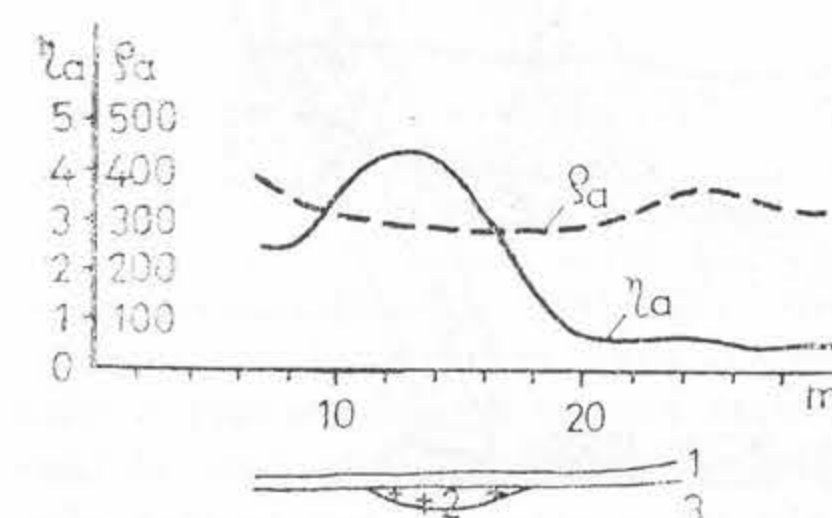


Fig. X.50. Informații geoelectrice deasupra unei lentile de bauxită din sectorul Cornetu:

1 — calcare neocomiene; 2 — bauxită; 3 — calcare tithonice (după D. Tournier și V. Văjdea, 1969).



Fig. X.51. Modelul structural a suprafeței calcarelor tithonice obținut prin seismometria de refracție, într-un sector din zona Ohaba-Ponor:

1 — izobată (în valoare absolută); 2 — locație de foraj; 3 — limită de zonă depresionară favorabilă acumulării bauxitei (după S. Spănoche, 1973 — preluat de la I. Vasiliu și A. Solomon, 1975).

urgoniene, care se diferențiază prin viteză de propagare a undelor elastice de 4 000—5 000 m/s față de 2 200—2 500 m/s a cuverturii de gresii și argile, din care reiese existența unor zone depresionare, probabil paleovăi, în care, ulterior, lucrările de explorare au pus în evidență prezența unor lentile de bauxită de 2—5 m grosime (Vasiliu și Solomon, 1975).

Cercetările geofizice în subteran sînt, de asemenea, de un deosebit interes pentru creșterea eficienței lucrărilor de explorare și exploatare a zăcămintelor de metale neferoase. Pentru exemplificare s-a ales cazul mineralizațiilor de la Băița-molibden din Munții Bihorului. Metoda folosită a fost electrometria pe baza polarizației induse. Mineralizațiile de sulfuri complexe legate de skarnificarea calcarelor ca urmare a punerii în loc a magmatitelor granodioritice, exploatate aproape integral în zonele de suprafață, nu se manifestă în prospectiunea electrometrică așa cum se poate remarca pe curba factorului de încărcare M înscrisă în partea de sus a fig. X.52. În schimb, măsurătorile efectuate la orizonturile VI și X au pus în evidență anomalii intense și bine conturate ale acestui parametru, produse atât de corpurile de minereu cunoscute

(Sturzu, Antoniu, Baia Roșie, Maria), cât și de altele eventuale situate sub orizontul X. Verificarea acestor anomalii prin foraje GP și executarea galeriei de la orizontul XIII a condus la identificarea unor alte mineralizații, precum și la modificarea întregii ima-

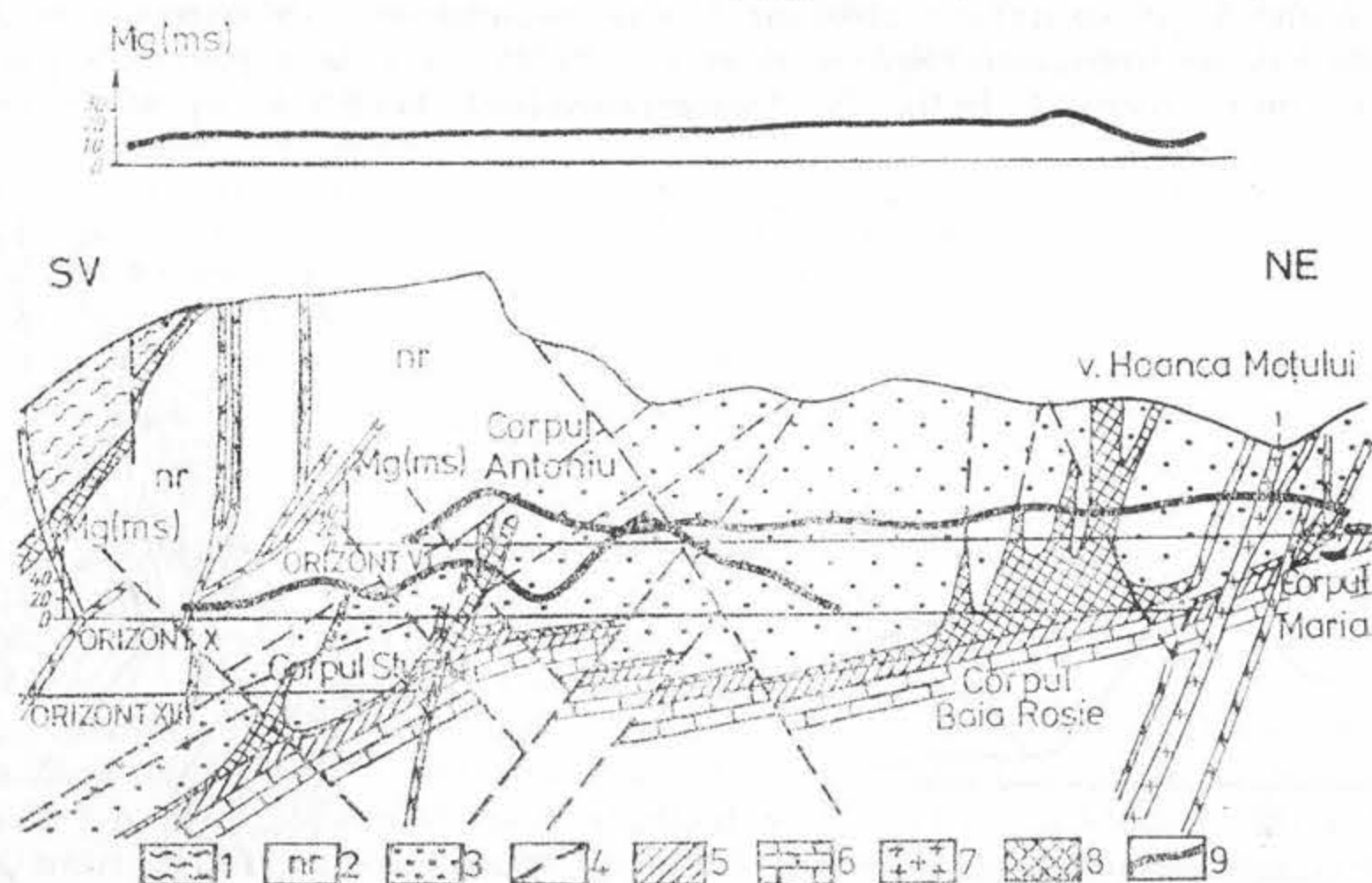


Fig. X.52. Informația electrometrică la suprafață și în două orizonturi din Mina Băița-molibden (după V. Vâjdea și A. Apostol, 1972 — preluat de la R. Botezatu et al., 1976):

1 — Permian (argilite, filite, cuarțite, gresii parțial skarnificate și cornificate); 2 — Norian (calcare recristalizate masive și intercalații detritice parțial cornificate și skarnificate); 3 — Carnian (dolomite cenușii și rozacee recristalizate); 4 — falie; 5 — Carnian (intercalații detritice parțialcornificate și skarnificate); 6 — Baremian (calcare albe, marne); 7 — dykuri diabaz-porfiritice; 8 — skarne mineralizate cu sulfuri polimetalice; 9 — skarne mineralizate cu sulfuri polimetalice.

gini structurale, așa cum este prezentată în secțiunea geologică din partea inferioară a aceleiași figuri (Botezatu et al., 1976).

2.3.3. MINERALIZAȚII AURO-ARGENTIFERE

Mineralizațiile auro-argentifere din țara noastră sînt de afiliație magmatică, legate de procesele de autometamorfism hidrotermal ale produselor vulcanismului neogen și sînt localizate în aceleași tipuri de structuri ca și cele de metale neferoase; mai mult decît atît, mineralizațiile polimetalice neferoase prezintă adeseori conținuturi reduse — de sub 1 g Au/t și cîteva g Ag/t — care nu se recuperează direct ci în procesele metalurgice de rafinare pentru Cu, Zn sau Pb.

Un alt element care condiționează aplicabilitatea metodelor geofizice este conținutul redus al acestor elemente în mineralizațiile exploatabile din punct de vedere economic, care sînt de cîteva g Au/t și cîteva zeci de g Ag/t, fapt care nu este de natură să realizeze contraste de proprietăți fizice mari în valoare în raport cu rocile care le găzduiesc.

Datorită acestor situații specifice, prospectarea geofizică a mineralizațiilor auro-argentifere se face în mod asemănător ca pentru cele de metale neferoase, în care rolul precumpănitor îl au procedeele metodei electrometrice și numai cu totul subordonat cele geomagnetice, gravimetrice sau radiometrice, acestea din urmă numai pentru stabilirea unor factori tectono-magmatici care controlează astfel de mineralizații.

Din punctul de vedere al posibilităților de prospectare geofizică, mineralizațiile din această grupă prezente în țara noastră se împart în două categorii principale.

O primă categorie o reprezintă filoanele, volburile și stockurile legate genetic de zonele de caolinizare a vulcanitelor neogene. În astfel de situații electrometria pe baza potențialului natural, a rezistivității aparente sau a polarizării induse — după caz — poate conduce la informații concludente. În fig. X.53 este prezentată harta anomaliei potențialului natural produsă de un stock de pirită auriferă din zona Baia de Arieș în Apusenii de sud, din care reiese că mineralizația se reflectă într-o anomalie de minim bine conturată, de intensitate mică de numai -40 mV, care circumscrie secțiunea orizontală a stockului așa cum este cunoscută în adîncime din lucrările miniere (Gavăț et al., 1973). Anomalia a fost controlată și prin metoda rezistivității aparente în varianta sondajului electric vertical, pe secțiunile geoelectrice prezența stock-ului aurifer în adîncime reflectîndu-se prin existența unor zone conductoare.

Rezultate asemănătoare s-au obținut și în alte zone din Munții Apuseni și Gutâi.

Cea de-a doua categorie este reprezentată de existența mineralizațiilor auror argentifere legate genetic de zonele de silicifiere și, îndeosebi, cele de tipul filoanelor de cuarț aurifer. În acest caz, datorită conductibilității electrice foarte scăzută în valoare a cuarțului, prezența unor astfel de filoane poate fi foarte clar pusă în evidență îndeosebi prin metoda rezistivităților.

Un exemplu concludent în acest sens îl reprezintă rezultatele obținute în zona Batarci din Munții Oașului (Mihail și Nicolau, 1970). În fig. X.54 este reprodusă o porțiune din imaginea variației rezistivității aparente obținută prin profilare electrică, pe care se individualizează clar un ax de maxim rezistivimetric, atingînd valori de 1000 Ω m față de un nivel de fond de numai 50—100 Ω m, corespunzător unui filon de cuarț aurifer cu direcția aproximativ nord-sud plasat în vecinătatea Vîrfului Rădălcinii. Pentru precizarea zonelor anormale de rezistivitate din partea sudică a acestui sector și a urmăririi evoluției acestora în adîncime, a fost executată o secțiune geoelectrică prin sondaje electrice verticale, reprodusă în fig. X.55. Pe această secțiune apare evidentă existența a două zone rezistive, cu orientare verticală, produse probabil de două astfel de filoane; în partea superioară a aceleiași figuri sînt reproduse și anomalii la suprafață a rezistivității aparente, potențialului natural și polarizabilității aparente care prezintă o remarcabilă corespondență între ele, reflectînd pe lîngă efectul celor două filoane de cuarț aurifer și pe acela al impregnațiilor de pirită, îndeosebi cele din vecinătatea suprafeței. Rezultatele geofizice obținute în acest sector au servit la orientarea lucrărilor de explorare prin galeriile de coastă de la Rădăcini și de la Bătărcel.



Fig. X.53. Imaginea anomaliei potențialului natural deasupra unui stock de pirită auriferă din Apusenii de sud (după Fl. Scurtu, 1961 — preluat de la I. Gavăț et al., 1973).

2.3.5. ACUMULĂRI DE SUBSTANȚE NEMETALIFERE ȘI ROCI UTILE

În prezent există peste 60 de substanțe nemetalifere care interesează ca materie primă pentru diferite ramuri ale industriei sau ca materiale necesare în anumite procese tehnologice ale industriei, pentru care sînt puse la punct tehnologiile de exploatare și de înobilare ale acestora. Cu excepția diamantelor industriale, în țara noastră se găsesc substanțe din această categorie sau există condițiile potențiale geologice — pentru cantități mai mari sau mai mici, cu calități mai bune sau mai puțin bune — pentru aproape întreaga gamă sortimentală cerută de industrie. Dintre acestea amintim ca mai importante: grafit, rocă cu sulf, gips, celestină, baritină, disten, wollastonit, pegmatit cu mică, talc, azbest, feldpsat, cuarț, perlit, calcar pentru siderurgie, cretă, dolomită, argile refractare, caolin, nisipuri silicicase, bentonită, diatomită și altele. La acestea se adaugă rocile utile pentru construcții, ca: balast și agregate pentru beton, granite și alte roci magmatice pentru piatră spartă, criblură, piatră fasonată, etc., roci ornamentale pentru plăcări exterioare sau interioare (marmură, travertin, roci eruptive cu diferite colorații) și încă multe altele.

Problema prospectării geofizice a acumulărilor unor astfel de substanțe are desigur și limitări fizice dar, în primul rînd, de natură economică, deoarece ele trebuie să fie aduse în circuitul economic la un preț de revenire în general mic. Un astfel de preț de cost nu poate fi asigurat decît printr-o exploatare de preferință în carieră și o conturare a rezervelor pe căi cit mai puțin costisitoare; or, metodele geofizice sînt mai scumpe decît observațiile geologice directe și efectuarea de lucrări miniere ușoare (dezveliri, șanțuri, puțuri și foraje de mică adîncime, galerii de coastă scurte) prin care se poate asigura conturarea volumelor și stabilirea calității substanțelor respective.

Există totuși unele substanțe, de valoare mai mare, pentru care metodele geofizice devin necesare și este justificată aplicarea lor. În cele ce urmează vom prezenta trei exemple din care reiese natura problemelor din această categorie și soluțiile cercetării geofizice românești pentru rezolvarea lor.

În țara noastră, grafit exploatabil pentru concentrate de mare puritate (peste 90–95% carbon), grafit coloidal, suspensie de grafit etc., se găsește în Munții Căpățînii, la izvoarele Oltețului, găzduit de sisturile grafitoase din complexul de metamorfite constituit din granite gnaisice în care sînt prinse acestea împreună cu amfibolite, sisturi cloritoase și filite. Complexele grafitoase se prezintă sub formă de benzi paralele afectate de decroșări și lentilizări pe direcția de dezvoltare a lor. Dintre metodele geofizice, cea mai eficientă pentru conturarea lentilelor de rocă cu grafit s-a impus electrometria în varianta potențialului natural. În fig. X.58 este reprodusă informația obținută pe această cale într-un sector din această zonă, din care reiese reflectarea prin minime intense ale potențialului natural a lentilelor de rocă cu grafit al căror contur — stabilit după verificarea cu lucrări miniere — este marcat prin linie punctată (Gavăț et al., 1973).

Baritina este o altă substanță nemetaliferă de mare interes, îndeosebi ca ingredient al noroaielor pentru forajele adînci. Baritină apare frecvent în ganga mineralizațiilor de sulfuri polimetalice și auro-argentifere, însă zăcămintele mai importante sînt cele în care acest mineral s-a format prin substituție în masa unor depozite de calcare sau dolomite. Un astfel de zăcămint este cel de la Dealul Cortelu din zona Somoș, în Dobrogea de nord, genetic legat de procesele de substituție metasomatică a calcarelor triasice sub influența unui corp de porfire cuarțifere pus în loc în cuprinsul acestora.

Această zonă a fost prospectată magnetic, electrometric și gravimetric, obținându-se informații provenite fie de la corpul de magmatite, fie de la mineralizațiile diseminate de sulfuri complexe, fie — în sfîrșit — de la însăși corpul de baritină. Avînd o densitate mare ($3,65 \text{ g/cm}^3$), mineralizația masivă de baritină realizează un contrast mare de densitate, de ordinul $+1,00 \text{ g/cm}^3$, față de calcarele și de porfirele între care

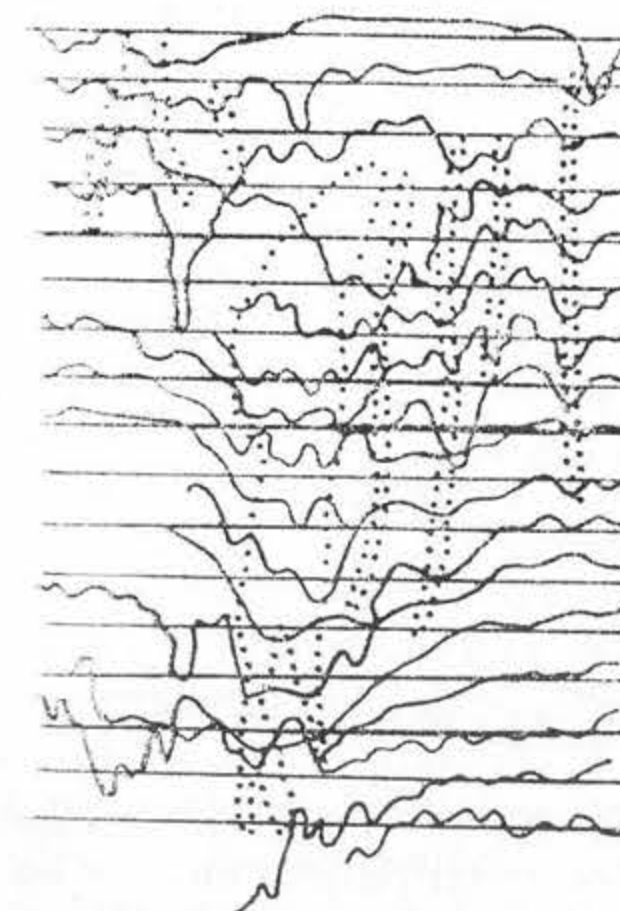


Fig. X.58. Imaginea variației potențialului natural într-o zonă mineralizată cu grafit de la izvoarele Oltețului (după I. Stoica și M. Stoica, 1965 — preluat de la I. Gavăț et al., 1973).

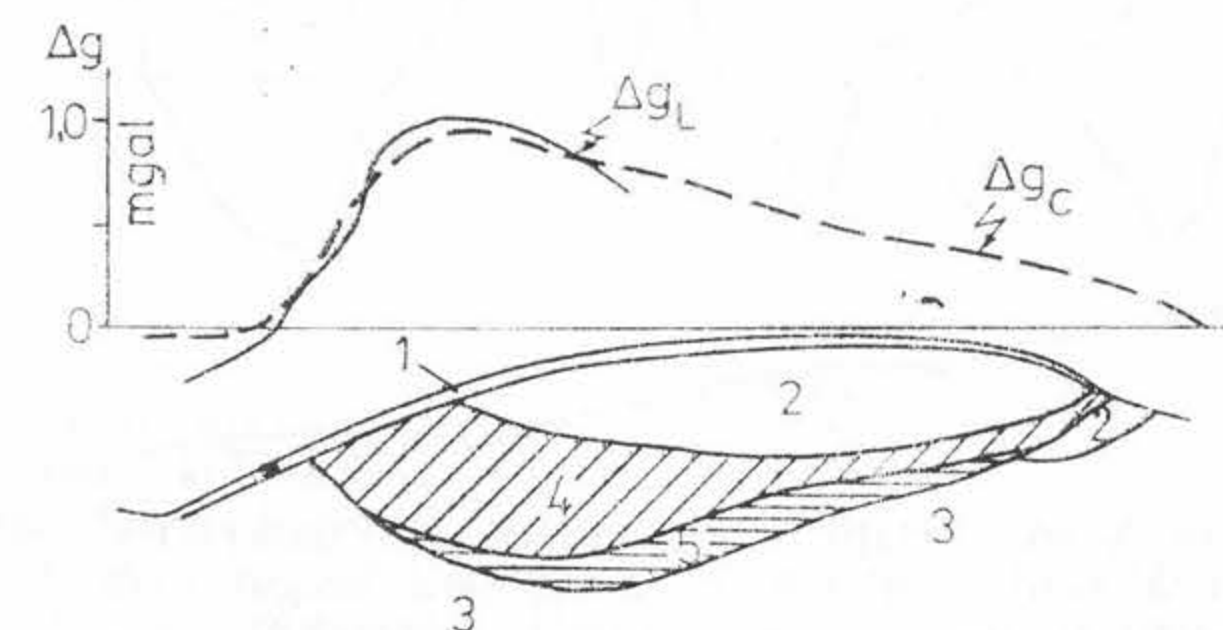


Fig. X.59. Modelul geofizic de simulare de-a lungul unui profil E-V al corpului de baritină de la Dealul Cortelu, determinat pe baza datelor geologice și a informației gravimetrice:

Δg_L — anomalia gravimetrică locală; Δg_C — efectul gravimetric al modelului; 1 — loess; 2 — calcare triasice; 3 — porfire cuarțifere; 4 — zăcămintul de baritină; 5 — corp de impregnație cu sulfuri polimetalice (după M. Visarion et al. 1974).

este încorporat. Acest fapt a asigurat informației gravimetrice condiții foarte bune de a se concretiza într-o anomalie de maxim care depășește 1 mgal . În fig. X.59 este reprodus un model al corpului de baritină construit pe baza informației gravimetrice și a celor geologice, controlul modelului obținut fiind realizat prin efectul gravitațional Δg_C pe care îl produce și care, așa cum lesne se poate constata, prezintă o bună corespondență cu anomalia gravimetrică locală Δg_L , pe porțiunea pe care aceasta a fost cartată (Visarion et al., 1974).

Mica sub formă de plăci, fulgi sau micronizată este, de asemenea, o substanță necesară industriei. Rezultate foarte interesante în cercetarea pegmatitelor micafero din regiunea Voineasa-Lotru în extinderea corpurilor cunoscute au fost obținute de către Iordache (1966) prin electrometrie în varianta potențialului natural. Corpurile de pegmatite micafero din această zonă se prezintă ca interstratificații în micașisturile și gnaisurile seriei cristaline de Lotru și apar ca lentile, stock-uri și cuiburi, avînd forme și mărimi foarte variate. Muscovitul este în conținut de circa 12% și are dimensiuni de 20–150 mm în suprafață și grosimi pînă la 40 mm, procesele de alterare datorate circulației apelor generînd electropotențiale naturale care ating -150 mV , față de valori de fond ale rocilor sterile de $+5$ pînă la $+50 \text{ mV}$.

În fig. X.60 este reprodus un profil al potențialului natural din sectorul Cataracte. Anomaliile de minim PN obținute au fost ulterior verificate prin șanțuri, puțuri și galerii care au identificat concentrații de mică. Autorul a determinat și o relație pe dependență între conținutul în mică, suprafața de cristalizare și valoarea potențialului natural generat, dependență care are un caracter liniar, ceea ce permite diagnosticarea valorii economice pe baza însăși a intensității anomaliilor PN obținute prin

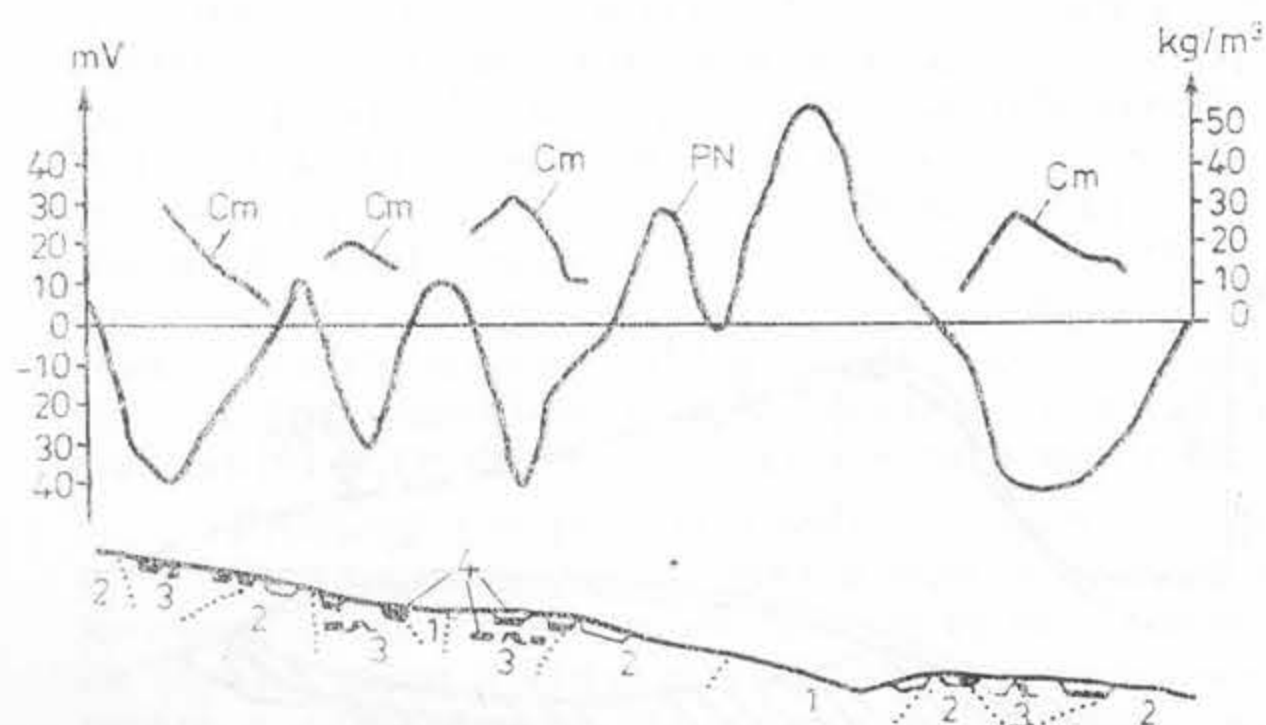


Fig. X.60. Variația potențialului electric natural PN și a conținutului în mică C_m de-a lungul unui profil în zona Voineasa-Lotru, sectorul Cataracte, în paralel cu secțiunea geologică și lucrările de explorare:

1 — micașturi; 2 — pegmatite nemineralizate; 3 — pegmatite micaferă; 4 — mineralizări de mică identificate prin lucrări miniere (după S. Gh. Iordache, 1966).

prospecțiunea geofizică. Valoarea medie statistică determinată în acest caz este de $1,03 \pm 0,6$ kg mică/m³ rocă/mV.

În fig. X.61 este reprodusă o porțiune din harta anomaliilor potențialului natural în sectorul Mănăileasa Mare 2, în care intensitatea anomaliilor nu depășește -40 mV. În acest sector îmbogățirile în mică, așa cum au arătat lucrările miniere, se prezintă ca lentile de dimensiuni reduse, însă cu o frecvență mai mare și aliniată pe direcții preferențiale corespunzătoare celor de șistozitate a rocilor cristalofiliene, fapt bine sugerat încă de la început de către informația geofizică.

2.3.6. ZĂCĂMINTE DE CĂRBUNI ȘI ROCI COMBUSTIBILE

Prospectarea geofizică a straterelor de cărbuni sau de alte roci combustibile, ca de exemplu șisturile grafitoase sau cărbuncase și, eventual, a unor tipuri de șisturi disodilice cu conținut mai ridicat în materie organică, pune probleme deosebit de grele.

O informație indirectă asupra prezenței unor astfel de substanțe în subsol este deocamdată imposibilă, cel puțin în țara noastră, deși ele se diferențiază față de rocile terigene care le conțin prin contraste mari de densitate, de rezistivitate electrică specifică și de impedanță acustică sau de coeficient de reflexie, producând în situații favo-

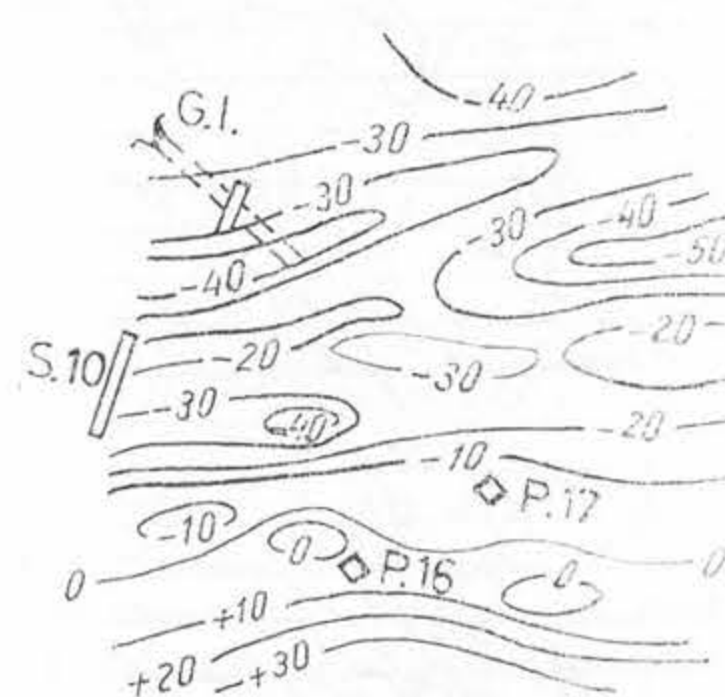


Fig. X.61. Imaginea anomaliilor potențialului electric natural PN în zona Voineasa-Lotru, sectorul Mănăileasa Mare 2 (după S. Gh. Iordache, 1966).

rabile și electropotențiale naturale. Această limitare a aplicabilității metodelor geofizice provine din două caracteristici ale straterelor de astfel de substanțe și anume:

- grosime mică, de la unul la câțiva metri;
- caracter concordant cu al straterelor terigene în care s-au format, suportând împreună cu ele o evoluție tectonică care a condus la forme structurale comune.

Stratele de lignit inferior din Oltenia, orizontale sau slab inclinate, care interesează din punct de vedere economic, exploatabile de preferință în carieră, nu pot fi prospectate seismometric prin refracție; ele realizează coeficienți de reflexie și, mai ales, suprafețe de reflexie bune și foarte bune, așa cum au dovedit-o prospecțiunile pentru petrol din Depresiunea Precarpatică a Munteniei la descifrarea structurii Levantinului inferior și a Dacianului, însă informația seismică de reflexie nu poate proveni decât de la adâncimi care depășesc 350–400 m, astfel încât stratele de lignit de mică adâncime nu intră în incidența posibilităților acestei metode.

Stratele de lignit superior și, mai ales, cele de huiă energetică, huiă coesificabilă, antracit și șisturi combustibile din Banat (Anina), se găsesc asociate unor structuri geologice puternic tectonizate, în condiții de combinare a unor elemente plicative și disjunctive care le conferă înclinări mari, falieri și decroșări, caracteristici care, de asemenea, devin prohibitive pentru metoda seismometrică.

Datorită acestor situații profund defavorabile, cercetarea geofizică pentru astfel de substanțe în România a fost foarte redusă și ca volum, și ca obiective, cu toate că metodele geofizice în alte părți ale lumii, dar și în alte condiții de structură geologică și de acumulări de cărbuni, au adus contribuții importante ca de exemplu: cea gravimetrică la Borken în R. F. Germania, cea electrometrică în Bazinul Moscovei, U.R.S.S., cea gravimetrică la Lickey Hills-Nuneaton în sudul Angliei, cea electrometrică în Bazinele Karaganda, Lvov și Donbass din U.R.S.S. și altele (Gavăț et al., 1973).

Dar dacă metodele geofizice nu pot aduce în condițiile din țara noastră informații direct de la stratele de cărbuni, unele din ele pot aduce contribuții la descifrarea structurii bazinelor cunoscute sau posibil carbonifere, în sensul stabilirii forme și adâncimii fundamentului acestora, a variațiilor de grosime a formațiunilor din cuprinsul cuverturilor sedimentare, a localizării accidentelor tectonice majore etc. În acest sens, indicații interesante a adus informația gravimetrică și cea seismometrică pentru Bazinul Petroșani; de asemenea, cea seismometrică pentru Bazinele Caransebeș și Hațeg (Vasilin și Solomon, 1975) și altele.

2.3.7. ZĂCĂMINTE DE SARE ȘI SĂRURI DE POTASIU ȘI MAGNEZIU

Prospectarea geofizică a acumulărilor de sare cu sau fără săruri de potasiu și magneziu este favorizată de faptul că aceasta se diferențiază puternic prin densitate, viteză de propagare a undelor elastice și rezistivitate electrică specifică față de rocile terigene în care sînt încorporate. Dintre toate metodele geofizice, cea gravimetrică a avut și are o eficiență remarcabilă la descoperirea și conturarea acumulărilor ascunse de sare, contribuind pînă în prezent la punerea în evidență a aproape 200 de masive de sare care nu erau cunoscute în țara noastră; pentru unele acumulări de sare, și informația seismometrică a contribuit la stabilirea îndeosebi a dezvoltării lor în adâncime. O sinteză a aportului metodelor geofizice pentru această substanță a fost făcută de Botezatu et al. (1970).

Din multe exemple care se pot prezenta a fost ales cazul masivului de sare de la Slătioarele din Județul Argeș. Prospectarea geofizică a acestui masiv a fost efectuată în anul 1948 printr-o lucrare gravimetrică de mare detaliu, iar existența sării a fost confirmată de 22 foraje, dintre care unul central care a străbătut întreg corpul de sare, iar restul cu adâncime de numai 500 m (Botezatu, 1964).

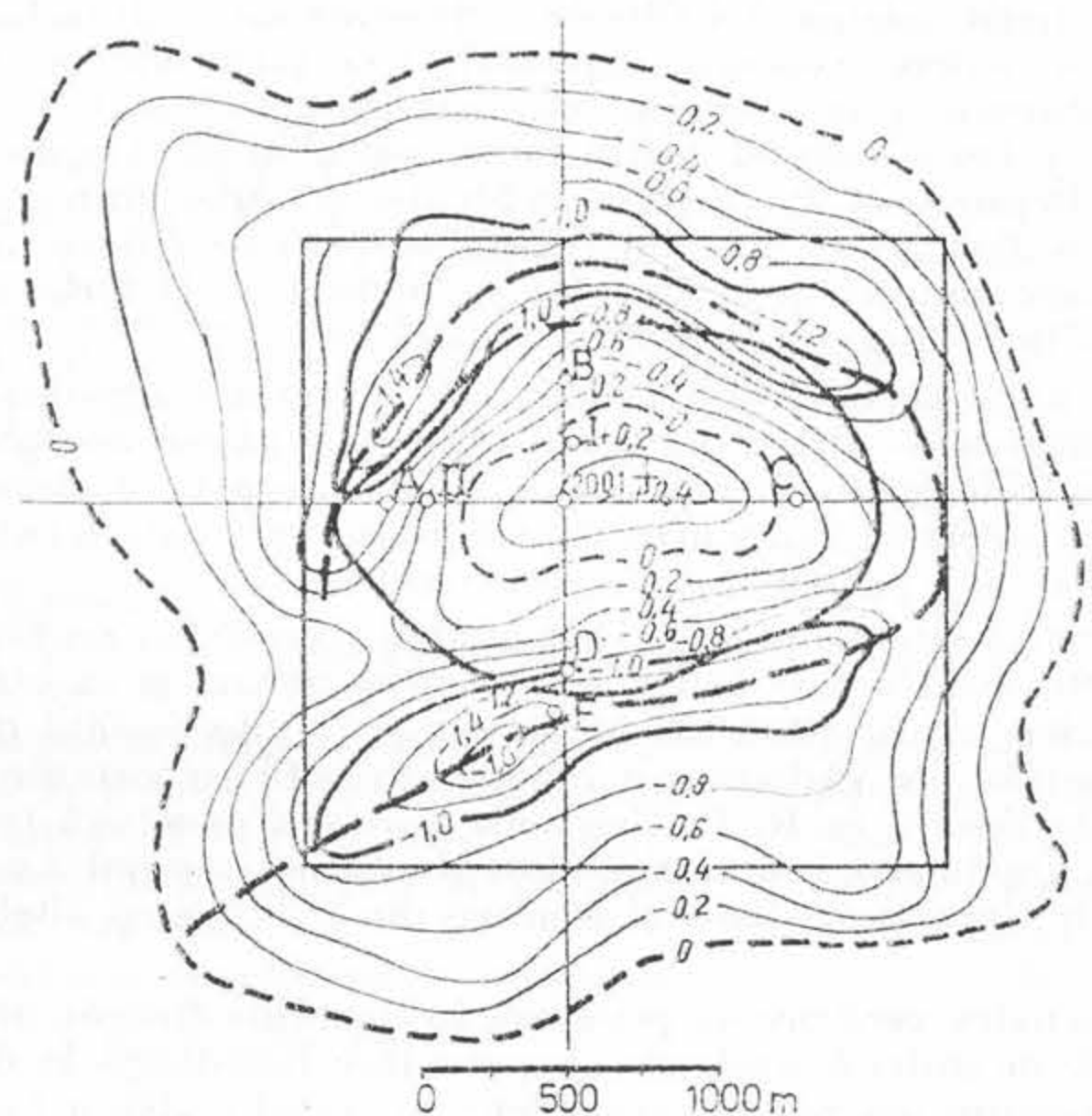


Fig. X.62. Anomalia gravimetrică locală produsă de masivul de sare de la Slătioarele, Argeș, cu indicarea locațiilor ultimelor șase foraje de explorare (după R. Botezatu et al., 1977).

În ultimii ani s-a reluat programul de explorare prin încă 6 foraje, pentru îmbunătățirea cunoașterii formei și extinderii în adâncime a corpului, precum și pentru stabilirea calității sării, în scopul construirii în cuprinsul lui a unor depozite subterane realizate prin dizolvare. Pe baza carotajului geofizic al ultimelor șase găuri de sondă s-a putut stabili variația în lungul acestora a densității și a conținutului în material insolubil (terigen), ultimul necesar precizării intervalelor optime și conducerii procesului de dizolvare. Pentru alegerea poziției unor astfel de depozite în interiorul corpului de sare, cu asigurarea unor pilieri de protecție corespunzători și a optimizării procesului de dizolvare, s-a efectuat o modelare a acestui masiv având la bază informația gravimetrică, cele provenite din carotajul geofizic al găurilor de sondă, precum și rezultatele forajelor avute la dispoziție (Botezatu et al., 1977).

Anomalia gravimetrică locală produsă de acest masiv de sare este reprodusă în fig. X.62. După cum se poate remarca, această anomalie are un caracter general de minim care are prezent un mic maxim central, ceea ce îi dă aspectul unui maxim

înconjurat de o aureolă de minime. Axa minimelor din jurul maximum central, marcată prin linia întreruptă, corespunde — cu excepția unei zone sudvestice — destul de bine cu conturul corpului de sare stabilit pe baza forajelor cu adâncime de 500 m, marcat prin linia continuă situată în interiorul axei la care ne-am referit mai sus.

Prin aproximații succesive s-a obținut final un model optimizat al acestui corp de sare care ține cont de variațiile densității și ale raportului sare/material insolubil,

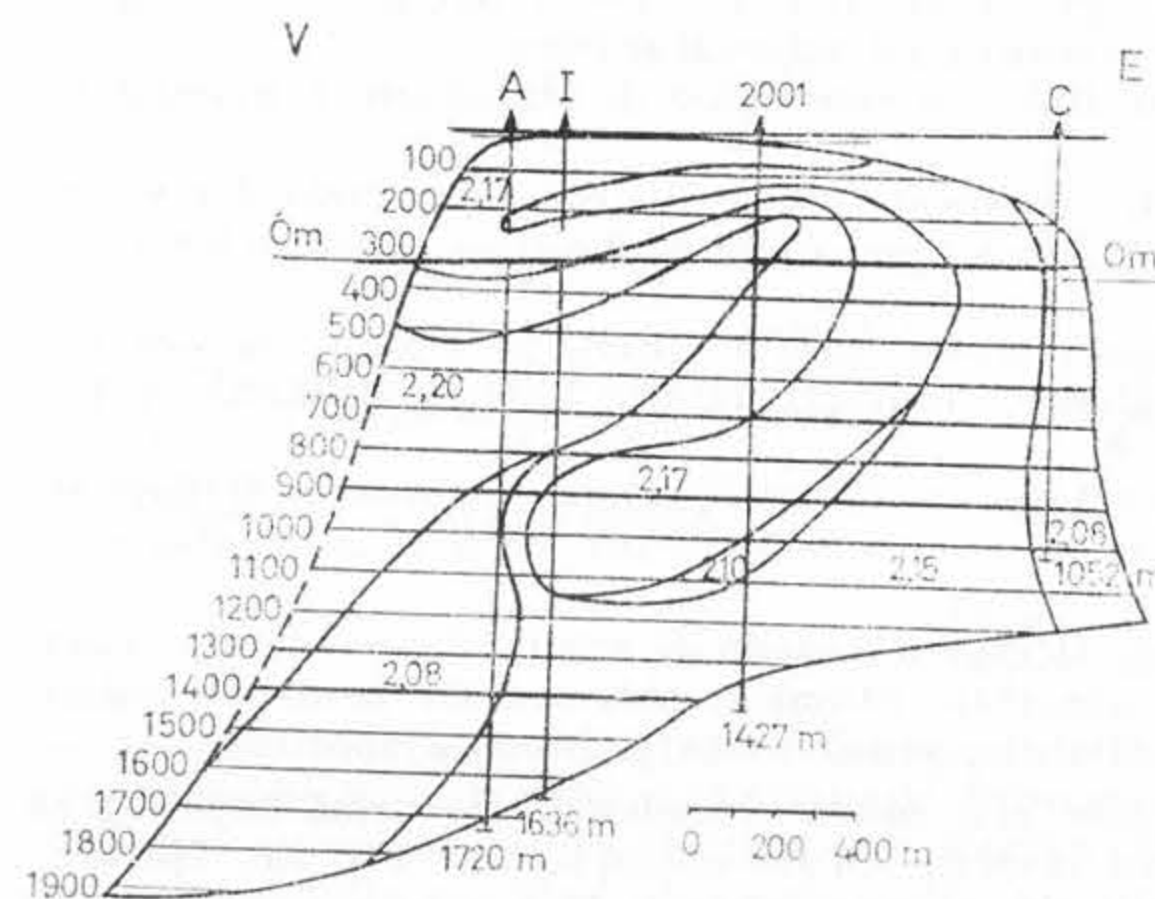


Fig. X.63. Secțiune verticală centrală pe direcția E—V prin modelul optimizat al masivului de sare de la Slătioarele, Argeș (după R. Botezatu et al., 1977).

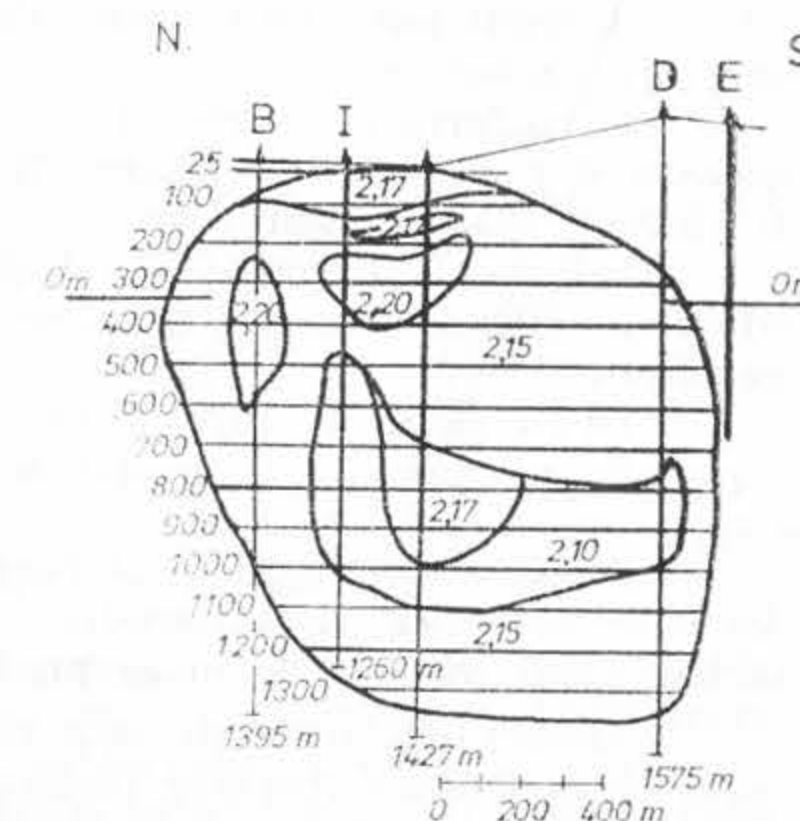


Fig. X.64. Secțiune verticală centrală pe direcția N—S prin modelul optimizat al masivului de sare de la Slătioarele, Argeș (după R. Botezatu et al., 1977).

ca și de intervalele de sare, indiferent de calitatea ei, traversate de cele 28 de foraje practicate până în prezent pentru conturarea lui. În figurile X.63 și 64 sint reproduse două secțiuni prin modelul geofizic de simulare al acestui masiv de sare.

După cum se poate observa, corpul de sare de la Slătioarele, Argeș, are o formă și o structură internă foarte complicată, cu o tendință de concentrare a materialului terigen în proporție mai mare către partea lui centrală. Verificarea acestui model s-a făcut prin determinarea efectului gravimetric al lui, care a reieșit ca fiind comparabil cu anomalia stabilită prin măsurători și reprodusă în fig. 23. Modelul astfel obținut reprezintă o bază fundamentală pentru proiectarea depozitelor subterane ce se intenționează a fi realizate.

3. PROSPECȚIUNEA GEOCHIMICĂ

Prospecțiunea geochimică s-a impus ca una din metodele de cercetare geologică larg utilizate în urma succeselor deosebite obținute în evidențierea unor zăcăminte metalifere care nu afloră și a costului redus al lucrărilor. Prospeccțiunile geochimice permit sesizarea mineralizațiilor ascunse aflate la adâncimi ce pot ajunge la câteva sute

de metri, obținerea de informații privind principalii componenți utili ai mineralizațiilor și aprecieri asupra extinderii zăcămintelor.

Principiul metodei de prospectare geochimică constă în identificarea zonelor cu conținuturi superioare, anormale, unei valori medii, specifice mediului geologic respectiv, numită *fond geochimic*. Conținuturile anormale sînt puse în legătură, de cele mai multe ori, cu existența unor mineralizații. Conturarea zonelor cu conținuturi anormale evidențiază anomaliile geochimice care, din punct de vedere genetic, pot fi:

- primare, formate în aceleași condiții cu mineralizațiile;
- secundare, determinate de schimbarea condițiilor de stabilitate a mineralelor specifice zăcămintelor.

Extinderea aureolelor geochimice depășește cu mult aria mineralizațiilor și prin aceasta sînt ușor de identificat. Modul în care se produce dispersia elementelor poate fi chimic, biologic sau fizic.

În funcție de mediul de dispersie cercetat, prospecțiunile geochimice se pot clasifica în: litogeochemice, pedogeochemice, hidroggeochemice, atmogeochemice și biogeochemice.

După scara la care se execută lucrările de prospectare, acestea se împart în: regionale (preliminare, informative sau strategice) — la scară mică și de detaliu (tactice) — la scară mare.

Dozarea elementelor cercetate se face prin metode de analiză fizico-chimice (analize spectrografice, spectrometrie de absorbție atomică, activare cu neutroni, colorimetrie etc.), metode de mare productivitate, sensibilitate și precizie sporită.

Elementele analizate sînt de cele mai multe ori elementele urmă capabile să formeze zăcămintele specifice (indicatori direcți), ca de exemplu Cu, Pb, Zn, Mo etc., elementele urmă ce însoțesc un anumit tip de mineralizații fără a forma concentrații valorificabile din punct de vedere economic (indicatori indirecți) ca de exemplu Cd, Ba, F, B sau elemente majore ce tind să se concentreze ca urmare a unor fenomene specifice formării mineralizațiilor, așa cum este cazul K, Na, Mg în adularizări, albiziări și dolomitizări.

3.1. PROSPECTIUNEA LITOGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea litogeochemică se poate executa la scară regională sau pe suprafețe restrinse, la scară mare.

Prospecțiunea litogeochemică regională urmărește stabilirea fondului geochimic al unor formațiuni specifice regiunilor luate în studiu și identificarea zonelor anormale de maximă perspectivă.

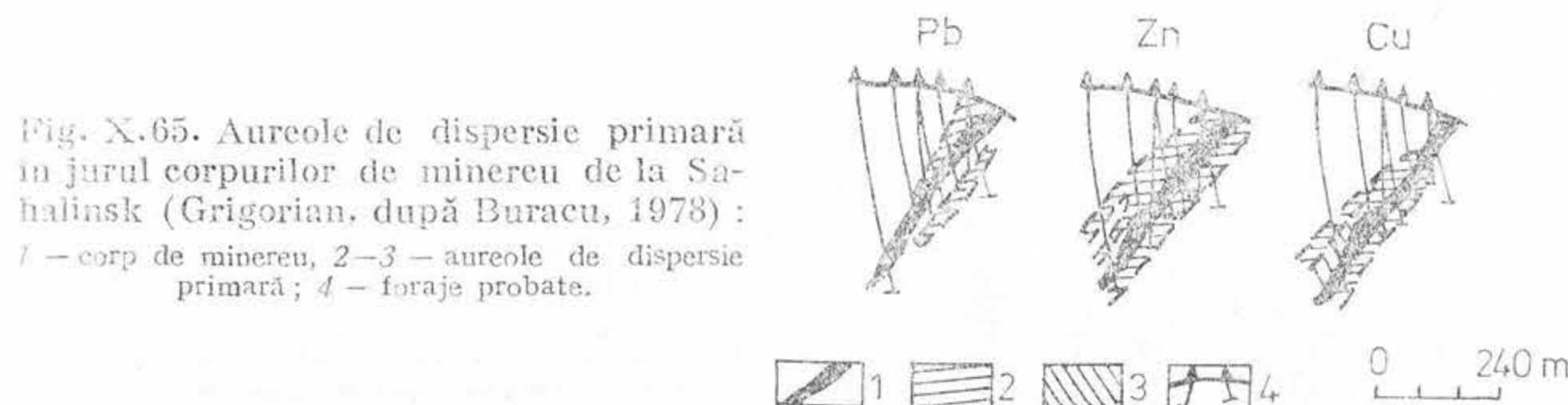
Prospecțiunea litogeochemică de detaliu are drept scop identificarea mineralizațiilor pentru care există unele indicii, precizarea tipului de mineralizație sau a poziției acestuia.

Prezența unor zone cu alterații hidrotermale este o indicație privind existența fenomenului hidrotermal și deci și a posibilității existenței unor mineralizații. În legătură cu aceste zone se pune problema dirijării cercetării prin lucrări miniere și foraje, cu maximă eficiență, pentru interceptarea eventualelor mineralizații. Cercetarea litogeochemică sistematică a rocilor din aceste zone indică, pentru numeroase elemente, o tendință de concentrare în jurul căilor de circulație a soluțiilor hidrotermale. Pozițiile

reciproce ale anomaliilor diferitelor elemente permit precizarea poziției zăcămintului ca urmare a dezvoltării lor diferențiate (fig. X.65).

Abateri ale anomaliilor primare de la pozițiile ideale pot fi determinate de o serie de factori printre care: caracteristicile petrografice ale formațiunilor (constituția petrografică, porozitatea, permeabilitatea, structura și textura) și tectonice. Identificarea anomaliilor pentru asociații caracteristice de elemente poate furniza date asupra tipului de zăcămint.

Prelevarea probelor în prospecțiunea litogeochemică se face în funcție de scopul urmărit și de caracteristicile terenului. În prospecțiunea litogeochemică regională rocile



sînt colectate de pe profile transversale pe structura geologică, distanțele între profile putînd merge pînă la 500 m. Distanțele între probe, pe același profil, variază între 50 și 200 m, urmărindu-se eșantionarea fiecărui tip petrografic în parte. În prospecțiunea de detaliu profilele sînt mai dese, iar distanțele între probe pot ajunge pînă la 5 m. Lucrările miniere și forajele se probează la intervale de 1—5 m în cazul indicațiilor privind existența unor mineralizații și la distanțe mai mari pentru zonele presupuse ne semnificative.

Greutatea probelor este în funcție de omogenitatea petrografică, structura și textura formațiunilor. Pentru roci relativ omogene și cu structuri fine, cantitatea de probă este mai mică (50—100 g) în timp ce pentru roci larg cristalizate și neomogene probele sînt mai mari (100—250 g). Nu se recomandă colectarea de probe medii (în brazdă), care nu permit sesizarea sensului de variație a conținuturilor. În cazul rocilor prelevate de la suprafață, acestea nu trebuie să fie afectate de fenomene de alterare superficială, deoarece conținuturile pot suferi modificări.

Analizele se execută pe probe globale de roci, pe concentrate minerale sau pe probe monominerale în cazurile în care sînt necesare precizări privind tendințele de concentrare ale elementelor urmă în anumite faze minerale. Pentru precizarea tipului de legătură a elementelor urmă (chimică sau fizică) se fac determinări prin dezagregarea totală a rocii sau pe extrase cu reactivi organici care nu afectează rețelele mineralelor, solubilizînd numai elementele reținute prin legături fizice.

3.2. PROSPECTIUNEA PEDOGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea pedogeochemică este o metodă de investigație geochimică a zăcămintelor de minereuri metalifere cel mai frecvent utilizată, ca urmare a răspîndirii largi a solului, a ușurinței de prelevare a probelor din sol, a costului relativ redus al analizelor și al obținerii unor rezultate foarte semnificative.

Principiul metodei constă în *identificarea aureolelor geochimice secundare* la anumite nivele din sol.

În prospecțiunea pedogeochimică regională se urmărește determinarea fondului geochimic al zonei luate în studiu, identificarea unor eventuale anomalii și, în unele zone cum sînt cele caracterizate prin soluri groase lipsite de aflorimente, delimitarea cartografică a unor formațiuni din subsol caracterizate prin contrast geochimic (amfibolite-cuarțite, peridotite-granite etc.).

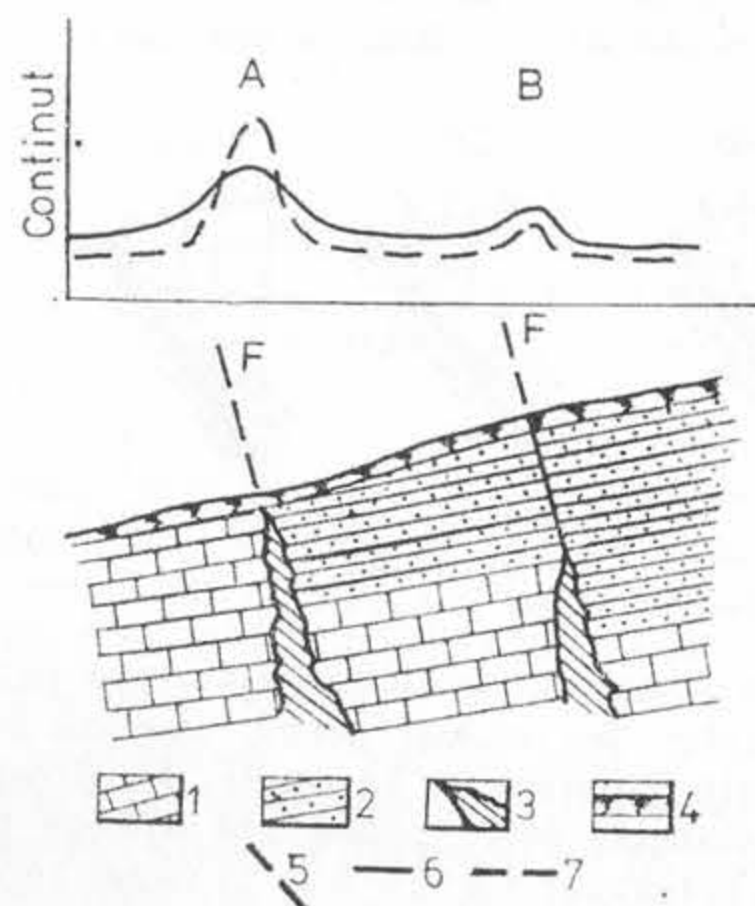


Fig. N.66. Anomalii pedogeochimice pe sol rezidual (A) și anomalii de „scurgere” (B), în cazul zăcămintelor de Pb și Zn
1 — calcare; 2 — argile grezoase; 3 — corp de minereu;
4 — sol; 5 — falie; 6 — curba variației conținuturilor de Zn;
7 — curbura variației conținuturilor de Pb.

Prospecțiunea pedogeochimică de detaliu urmărește delimitarea unor anomalii geochimice în regiuni unde există indicații privind existența unor mineralizații și amplasarea unor lucrări de cercetare cu maximum de eficiență.

Solurile sînt formațiuni actuale sau recente care prezintă caracteristici structurale în funcție de condițiile pedogenetice și gradul de maturizare. În cele mai multe soluri pot fi identificate trei orizonturi:

— orizontul A constituie partea superioară a solului și se individualizează prin prezența în cantități variabile a substanțelor de natură organică alături de cele de natură minerală. Grosimea orizontului A este cuprinsă, în general, între 15 și 35 cm;

— orizontul B este constituit din componenți anorganici: minerale argiloase, oxizi și hidroxizi de fier, mangan, aluminiu, siliciu, carbonați și alții. Compoziția mineralogică a acestui orizont este determinată de compoziția rocii din subsol (roca mamă), de condițiile pedogenetice și de gradul de maturizare al solului. Grosimea acestui orizont este variabilă în limite largi;

— orizontul C face trecerea la roca proaspătă nealterată și este constituit din componenți specifici orizontului B, fragmente de rocă și uneori faze minerale specifice, de trecere (metastabile) de la cele ale rocii proaspete la cele ale orizontului B. Grosimea acestui orizont este de asemenea variabilă.

Dispersarea elementelor în soluri se poate face pe cale fizică, în cazul elementelor cuprinse în mineralele rezistente la alterarea supergenă (aur nativ, cromit, cinabru etc.) sau pe cale chimică, în cazul elementelor cuprinse în minerale ce se alterează ușor (sulfurile sau compuși similari în cele mai multe cazuri). Reținerea elementelor dispersate se poate face pe cale chimică, ca urmare a apariției unor compuși mai puțini solu-

bili în apropierea suprafeței (carbonați, vanadați, molibdați etc.) sau pe cale fizică, prin adsorbția elementelor pe constituenții coloidal ai solului, cum sînt mineralele argiloase, oxizii și hidroxizii de fier și mangan, compuși organici și alții.

Concentrațiile elementelor urmă în soluri sînt diferite, în funcție de tipul de sol, de adîncime, de gradul de maturitate al solului, de caracteristicile geochimice ale elementelor analizate și de poziția mineralizațiilor care le-au generat față de sol.

Pozițiile anomaliilor pedogeochimice față de mineralizațiile care le-au generat se pot suprapune sau pot fi deplasate în funcție de caracteristicile morfologice, hidrogeologice, pedologice, litologice, de vegetație, de poziția corpului de minereu față de suprafața de eroziune și de proprietățile geochimice ale elementelor luate în studiu.

Prelevarea probelor în prospecțiunea pedogeochimică se face după profile orientate perpendicular pe direcția de dezvoltare a formațiunilor geologice sau a unor accidente tectonice posibil să controleze localizarea mineralizațiilor (falii, decroșări, axe de cute etc.), perpendicular pe direcția de apariție a unor corpuri de origine magmatică (dik-uri) sau transversal pe direcția dominantă de șistozitate a formațiunilor cristalo-filiene (pe cît posibil perpendicular pe S_0) sau pe direcțiile de dezvoltare a zonelor ce prezintă alterații hidrotermale sau fenomene pirometasomatice.

Echidistanța dintre profile se alege în funcție de tipul de mineralizație presupus și de tectonica care a afectat zona. În cazul zăcămintelor stratiforme, slab sau neafectate de fenomene rupturale, distanțele dintre profile pot fi mai mari (50 m), pentru ca în cazul zăcămintelor cu morfologie foarte complicată, afectate de o tectonică ulterioară, echidistanța să fie mult micșorată (15–20 m). Distanțele dintre probe pe același profil sînt mult mai mici (10 m în general).

Adîncimea de prelevare a probelor este constantă și ea se alege în așa fel încît să corespundă tranziției de la orizontul A la orizontul B (20–25 cm). Pentru prelevarea probei se face o gaură în sol cu ajutorul unei tije metalice, pînă la adîncimea stabilită pentru extragerea probei, după care se introduce carotiera cu ajutorul căreia se scoate o primă probă. Pentru a avea un eșantion de sol cît mai puțin contaminat, fie cu material din părțile superioare ale găurii, fie de la proba prelevată anterior, primul material scos este îndepărtat, după care se ia proba în greutate de 50 pînă la 100 g. Proba se introduce în pungi de hîrtie cu pereți dubli, cel interior fiind confecționat din hîrtie pergament, sau în pungi de polietilenă. Pe pungi se notează sectorul, data prelevării probei, numărul profilului și al probei.

Analizarea probelor se execută în parte în laboratoarele de teren, pentru identificarea operativă a eventualelor zone anormale și în laboratoare centrale, în totalitate. Analizarea probelor pe teren se face prin metode ce necesită o aparatură simplă (colorimetrie), iar în laborator prin metode de mare sensibilitate și productivitate (spectrografie de emisie, spectrometrie de absorbție atomică). În prealabil, probele sînt mojarate și omogenizate, iar în funcție de metoda de analiză folosită și de scopul urmărit pot fi analizate direct (dozări globale în spectrografia de emisie) sau după o dezagregare chimică, cu dozarea conținutului total al unor elemente (în spectrometria de absorbție atomică) sau prin solubilizarea elementelor reținute prin legături fizice (absorbție) și dozarea lor.

Rezultatele obținute în urma analizelor sînt trecute pe harta zonei cercetate, în dreptul punctelor de prelevare a probelor. Trasarea anomaliilor se face după prelucrarea matematică a datelor analitice, prin care se evidențiază pragul geochimic. Alegerea lucrărilor de verificare a anomaliilor (descoperite, șanțuri, puțuri sau galerii) și amplasarea lor se face după interpretarea geochimică a hîrtii, ținînd seama de cît mai mulți factori care pot conduce la apariția anomaliilor și la poziția ei.

3.3. PROSPECȚIUNEA HIDROGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea hidrogeochimică este larg utilizată în cercetarea preliminară a regiunilor pentru care sînt premise privind existența zăcămintelor de minereuri. Principiul metodei constă în *identificarea conținuturilor anormale în ape ale unor elemente specifice zăcămintelor de minereuri*.

Apele subterane sau de suprafață ce vin în contact cu mineralele specifice zăcămintelor pot solubiliza o parte din elementele constitutive, generînd aureole de dispersie secundară. Elementele dispersate în ape se pot prezenta fie sub formă de ioni liberi ca urmare a apariției în condiții de oxidare a unor săruri ce solubilizează și disociază puternic (sulfati, halogenuri), fie sub formă de componenți ai soluțiilor coloidale. Coloizii pot apare ca rezultat al unei fragmentări avansate a materialului (coloizi de origine mecanică) sau în urma unor reacții chimice, așa cum este cazul hidroxizilor de fier și mangan, mineralelor argiloase, unor compuși organici care pot adsorbi o parte din anionii sau cationii din apele subterane sau de suprafață. Combinații organice cu metale specifice zăcămintelor de minereuri sînt, de asemenea, prezente mai ales în apele de suprafață.

Solubilizarea elementelor din zăcămintele, extinderea și intensitatea anomaliilor hidrogeochimice depind de caracteristicile chimice ale elementelor luate în studiu, de compoziția mineralogică, de structura și textura minereului supus lezării și de o serie de factori de mediu, cum ar fi: compoziția apelor, cantitatea de material coloidal organic sau anorganic prezent în apă, clima, unghiul de pantă, natura rocilor pe care circulă apa, debitul etc.

Prospecțiunea hidrogeochimică se execută în special pe ape de suprafață și mult mai rar pe ape subterane.

Prospecțiunea hidrogeochimică pe ape subterane se realizează prin prelevarea probelor de ape din fîntîni, foraje și lucrări miniere.

Prospecțiunea hidrogeochimică pe ape de suprafață este mult mai frecvent utilizată, ca urmare a ușurinței prelevării probelor și a interpretării mai facile a datelor obținute.

Apariția anomaliilor hidrogeochimice în apele de suprafață poate fi efectul atît al unei spălări directe a unor mineralizații cît și al unui aport de ape din izvoare care provin din pînze freatice ce vin în contact cu mineralizațiile.

Anomaliile hidrogeochimice în apele de suprafață sînt situate în aval de corpurile care le-au generat, iar extinderea lor este funcție de specificul geochimic al elementelor luate în studiu, de forma sub care sînt dispersate elementele, de caracteristicile petrografice ale rocilor ce constituie talvegul etc. Trebuie menționat că rocile cu conținut ridicat de material organic, cum sînt de exemplu șisturile bituminoase și rocile carbonatice, constituie bariere geochimice în aval de care conținuturile scad sensibil.

Prelevarea probelor de apă în prospecțiunea hidrogeochimică pe ape de suprafață se execută din aval către amonte. Distanțele dintre probe sînt cuprinse între 15 și 40 m. La prelevarea probelor sînt evitate zonele de băltire de lingă maluri, zonele de confluență, marile cursuri de ape. Se recomandă luarea probelor în regim staționar al debitului, evitîndu-se perioadele de viituri sau secetă prelungită. Probele se imbuteliază în recipiente confecționați din sticlă sau material plastic, cu capacități de 0,25—1 l.

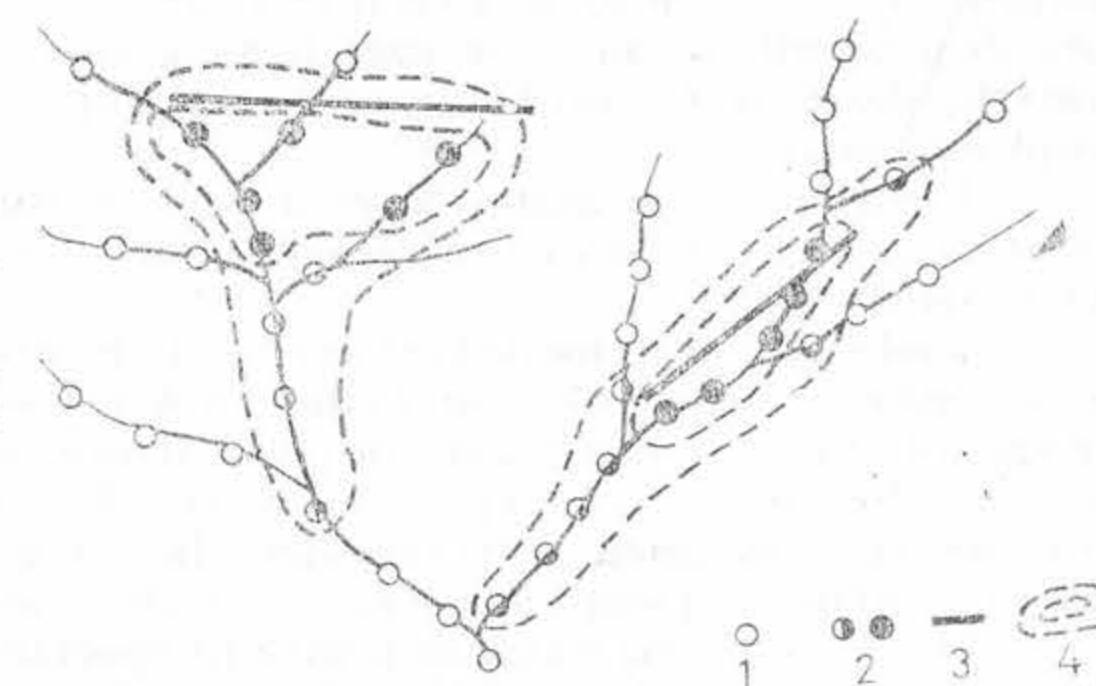
Analizarea probelor se face în timpul cel mai scurt posibil de la prelevare, pe cît posibil în laboratoare de teren. Analizele se execută pentru cantitatea totală de element luat în studiu, de obicei după o acidulare puternică, sau numai pentru elementele

prezente în stare ionică. Mai rar se fac analizele pe reziduul rămas după evaporare. Analizele curente se fac prin metode colorimetrice, în laboratoare de teren, sau prin spectrometrie de absorbție etomică în laboratoare centrale. Paralel cu dozarea elementelor se execută determinări de pH și de reziduu după evaporare, determinări necesare pentru interpretarea complexă a datelor.

Rezultatele cele mai bune în determinarea poziției mineralizațiilor ce determină anomaliile se obțin în cazul dozărilor de elemente în stare ionică, deși conținuturile sînt sensibil mai mici.

Fig. X.67. Aureole hidrogeochimice (Buracu, 1978):

1 — concentrații de fond; 2 — concentrații anormale; 3 — fractură mineralizată; 4 — aureolă hidrogeochimică.



Metoda este recomandată în regiunile cu soluri puțin evoluuate, în zone cu soluri nereziduale sau foarte groase. Interpretarea datelor este complexă, fiind necesară cunoașterea mai multor factori ce influențează apariția, extinderea și intensitatea anomaliilor. Ponderea pe care o au acești factori în controlul caracteristicilor anomaliilor (intensitate, contrast, poziție) este adesea dificil de apreciat din punct de vedere cantitativ.

3.4. PROSPECȚIUNEA ATMOGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea atmogeochemică este o metodă de investigație introdusă relativ recent în cercetarea zăcămintelor de minereuri. Principiul metodei se bazează pe determinarea conținuturilor în atmosferă sau în gazele de la nivelul solului, a unor elemente ușor volatile cum sînt Hg, I, Br și a unor gaze care apar în concentrații mai ridicate în apropierea zăcămintelor de minereuri (Rn, CO₂, CH₄, H₂S) și a compoziției unor suspensii solide mai mult sau mai puțin grosiere. Metoda a putut să se dezvolte mai ales ca urmare a metodelor de analiză pentru concentrații extrem de mici.

Elementul cel mai frecvent luat în studiu la prospectarea zăcămintelor de minereuri este mercurul. Aureole anormale pentru mercur au putut fi observate atît în gazele reținute la nivelul solului cît și în atmosfera din jurul unor zăcămintele de cinabru, cu minereuri polimetale sau de cupru diseminat. Dispersia mercurului este determinată de oxidarea cinabruului sau a altor sulfuri cu conținuturi de mercur cum este de exemplu blenda.

În atmosferă conținutul de mercur variază cu altitudinea, avînd tendința de scădere exponențială cu înălțimea. În sol mercurul este probabil reținut, în cea mai mare

parte, prin fenomene de suprafață (adsorbție). Concentrația mercurului se pare că depinde, în primul rând, de cantitatea de material organic. Astfel, la nivelul orizontului *A* conținuturile sînt totdeauna mai ridicate decît la nivelul orizontului *B*.

Anomaliile atmogeochemice pentru mercur sînt caracterizate printr-un contrast mare, fapt ce determină trasarea lor cu multă siguranță. Concentrațiile de fond pentru multe regiuni cu formațiuni eruptive este de ordinul 1 ng/m^3 ($1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$) sau mai mici, în timp ce pentru zonele anormale se depășește 10 ng/m^3 .

Posibilitatea vaporilor de mercur de a dispersa ușor prin formațiuni permite sesizarea unor zăcămintele de sulfuri în regiuni cu soluri nereziduale. Poziția anomaliilor față de corpurile de minereu care le-au generat este adesea influențată de tectonica regiunii, deasupra fracturilor ce afectează corpurile de minereu observîndu-se concentrații mai mari.

Conținuturile ridicate ale unor gaze inerte (He , Ne , Ar) și a H_2S și CH_4 sînt în unele cazuri indicatori pentru zăcămintele hidrotermale tinere, iar Rn pentru zăcămintele de uraniu.

Prelevarea probelor de gaze se execută pe profile orientate perpendicular pe structura regiunii, iar probele sînt luate din atmosferă, totdeauna de la aceeași distanță de sol și la presiune constantă sau prin extragerea gazelor din sol, de la aceeași adîncime, cu ajutorul unor pompe. Probele sînt închise ermetic în recipiente de sticlă, iar analizele se recomandă a fi executate în cel mai scurt timp, pentru evitarea unor reacții posibile cu pereții vaselor.

Metoda este recomandată pentru prospectarea zăcămintelor de mercur, în special, și a celor hidrotermale cu sulfuri, în general.

Cercetarea *suspensiilor* (aerosolilor) este o altă posibilitate de investigație caracteristică prospecțiunii atmogeochemice. Principiul se bazează pe posibilitatea existenței în atmosferă a unor particule cu compoziția formațiunilor de la suprafață. Metoda poate fi aplicată la prospectarea tuturor tipurilor de minereuri, cu condiția ca acestea să afloreze. În funcție de dimensiunile suspensiilor, greutatea lor specifică și condițiile atmosferice, acestea se pot întîlni în concentrații decelabile pînă la altitudini de ordinul a o sută de metri. Acest fapt permite posibilitatea colectării probelor din avion, prin survolarea unor regiuni întinse după profile egal distanțate ($100-500 \text{ m}$). În cele mai multe cazuri, probele se colectează prin filtre de tipul unor țesături confecționate din mătase sau material plastic, particulele fiind reținute ca urmare a încărcării electrostatice a materialului la frecarea cu aerul. Filtrele sînt arse, iar cenușa rezultată analizată.

Metoda este recomandată în prospectarea preliminară a regiunilor deșertice sau semideșertice lipsite de sol sau cu soluri scheletice.

3.5. PROSPECȚIUNEA BIOGEOCHIMICĂ

Metoda biogeochemică de prospecțiune utilizează elemente de geobotanică. Geobotanica la rîndul ei se ocupă cu studiul vegetației prin unitatea sa de bază *asociația de plante*. Asociația de plante reprezintă o grupare de plante cu o anumită compoziție floristică, structură, ecologie, dezvoltată pe un substrat caracteristic, bogat sau nu în anumite minerale utile. Indicatoare sînt doar acele plante ce au proprietatea de a se dezvolta pe roci sau soluri cu caractere proprii, în prezența unor elemente cum ar fi: Ca , Na , Cu , Zn , Fe , Mg , Mn etc. Excedentul sau lipsa elementelor chimice în roci, sol și ape determină reacții diferite din partea plantelor, reflectate în compoziția chimică din unele organe vegetative (rădăcini, tulpini, frunze, semințe).

S-a constatat că pe zăcămintele de minereuri sau pe diverse roci, apele de infiltrație conțin cantități uneori importante de metale, fapt ce se reflectă în aceeași măsură și în creșterea acestui conținut în plantele de pe substratele sus amintite.

Metodele de prospecțiune pentru zăcămintele de minereuri folosesc atît elemente geobotanice, cît și elemente biogeochemice avînd la bază relații directe ce există între compoziția chimică a rocilor, solurilor și apelor de infiltrație sau de suprafață, precum și între compoziția chimică, morfologia unor părți vegetative ale unei specii caracteristice.

Metoda geobotanică include printre altele: — prospectarea zăcămintelor în funcție de plantele indicatoare; — utilizarea ca indicii de prospecțiune schimbările survenite în morfologia externă a plantelor și eventual ritmul sau rata creșterii, în funcție de excesul într-un element sau mai multe elemente; — prospectarea zăcămintelor prin plante ca surse indicatoare indirecte.

Plante indicatoare. Plantele indicatoare se caracterizează prin apartenența exclusivă față de un substrat (roci, soluri), cu o anumită compoziție chimică, neîntîlnindu-se în alte areale sau pe alte substraturi.

După compoziția predominantă a unui element chimic, plantele indicatoare sînt grupate în:

— *plante oligotrofe* întîlnite pe soluri sărace în substanțe minerale. Apar în arealele mlăștinoase, turboase (*Sphagnum* — Mușchiul de turbă) sau pe substraturi acide (*Nardus*);

— *plante nitrofile* se întîlnesc pe substraturi bogate în azotați. Cea mai mare cantitate de săruri de azot provine din descompunerea substanțelor organice moarte, la care se adaugă și azotul amoniacal adus de apele de precipitație. Indicatori de sub-

Tabelul X.6

Corelația dintre plante și substratul mineral

Plante calcifile (substrat calcaros)	Plante calcifuge (substrat silicios)
<i>Asplenium lepidum</i>	<i>A. septentrionale</i>
<i>Salix retusa</i>	<i>Salix herbacea</i>
<i>Gentiana clusii</i>	<i>G. kochiana</i>

stanțe azotofile sînt *urzicile*. Abundența și creșterea lor sînt direct influențate de cantitatea de azot; cu cît aceasta este mai ridicată cu atît devin mai abundente și cresc atîngînd dimensiuni de pînă la 2 m înălțime (Olsen, 1925);

— *plante calcifile* (tabelul X.6) cresc numai pe roci calcaroase și pe soluri bogate în calciu (peste 3%);

— *plante calcifuge* indică substraturi silicioase sau de altă natură dar nu calcaroase;

— *plante zincofile* acumulează în organele vegetative cantități apreciabile din acest element. În frunzele de *Thlaspi calaminarium*, oxidul de zinc atinge concentrații maxime de pînă la 13,12%. O altă plantă zincofilă este *Viola calaminaria* (Toporașul).

Alte plante ca *Minuartia verna* și *Armeria elongata* manifestă o evidentă preferință față de solurile bogate în săruri de zinc, pe care cresc din abundență, în timp ce din arealele apropiate lipsesc;

— plantele magneziofile se dezvoltă foarte bine pe substraturi bazice, în special pe serpentinite și bazalte, ca și pe formațiuni dolomitice. Caracteristice pentru substraturi serpentinitice sînt în special specii de ferigi cum ar fi: *Asplenium adulterinum*, *A. cuneifolium* subsp. *serpentini*. Dintre plantele superioare antofite (plante cu flori) caracteristice sînt: *Potentilla* sp., *Myosotis* sp., *Serpervivum hirtum* subsp. *adenophorum*, *Sedum serpentini*, *Euphorbia serpentini* și *Armeria maritima* var. *serpentini*.

Pe substraturi dolomitice bogate în magneziu și subordonat în fier, vegetează și sînt indicatoare: *Linum dolomiticum* (Inul dolomitic), *Seseli leucospermum* (Buruiaua vîntului), *Kernera alpina* (familia Crucifere), *Armeria juncea* (familia Plumbaginaceae) și *Saxifraga cernensis* (familia Saxifragaceae);

— plantele cuprofile cresc pe soluri bogate în săruri de cupru, atingînd în unele plante concentrații de pînă la 10%. O cuprofilă strictă este și așa-numita floare de cupru sau *Haumaniastrum robertii* (familia Labiate), utilizată pe scară largă în prospectarea minereurilor de cupru. O altă plantă cuprofilă este *Becium homblei*, folosită, pentru spectrul coloristic caracteristic, în marcarea zăcămintelor de cupru prin aerofotograme obținute din helicopter;

— plantele seleniofile indică prezența substratului sau a solurilor bogate în seleniu. Indicatori pentru roci bogate în seleniu sînt specii de *Astragalus*, în special *A. pectinatus*;

— plantele halofile se dezvoltă pe soluri sărate sau pe substraturi evaporitice de origine marină sau continentală. Din categoria euhalofitelor, rezistente la concentrații mari în săruri minerale, fac parte genuri și specii din familia Chenopodiaceae, reprezentate prin: *Salicornia herbacea*, *Suaeda maritima* și *Salsola rutenica*;

— plantele ferifile acumulează fierul pe substraturi acide de tipul gresilor silicioase și pe argile, un bun indicator fiind *Vaccinium myrtillus*.

Cele mai vizibile indicii de prezența unor elemente chimice la plantele indicatoare sînt marcate prin schimbări în morfologia frunzelor, pierderea proprietății de a înflori la timp, reducerea totală sau parțială a unor organe, uscarea sau căderea prematură a frunzelor, schimbarea culorii etc.

Principalele etape în prospecțiunea biogeochimică. Observații preliminare. Prospecțiunea biogeochimică impune în primul rînd cunoașterea structurii geologice, a particularităților geobotanice și a compoziției cenușilor plantelor din arealul ce urmează a fi studiat. Pe lîngă geologia regiunii, corpurile de minereu sînt traversate uneori și de accidente tectonice, zone în care compoziția plantelor poate să fie schimbată vizibil față de restul corpului de minereu.

În afara acestor observații, importante sînt și condițiile hidrogeologice ale regiunii ce influențează direct hrana plantelor prin sărurile minerale, pH-ul, grosimea și structura solului, geneza acestuia — funcție directă a substratului — precum și identificarea asociațiilor de plante predominante în regiunea de studiu.

Colectarea și selectarea probelor biogeochimice. Metoda biogeochimică în prospectarea zăcămintelor de minereuri are la bază o rețea de profile cu prelevare de probe din frunze, tulpini sau rădăcini dintr-o anumită specie sau mai multe specii (cu vîrste apropiate), a căror cenușă indică conținutul elementelor ce formează minereul. Rezultatele se trec pe hartă sub formă de linii cu conținuturi egale de metale (izoconcentrate). Sectoarele cu conținut anormal în metale se verifică prin lucrări speciale de explorare (S. M. Tkalić, 1961).

Indiferent de metoda folosită, geobotanică sau biogeochimică, rezultatele sînt apropiate și este de dorit să fie utilizate împreună.

Teoretic se consideră că probele geochimice pot fi colectate din orice tipuri de plante. Utile sînt plantele ierboase, arbuștii și chiar arborii.

Pentru obținerea unor rezultate de comparație, probele se iau din aceleași specii sau în orice caz din specii apropiate, ce provin din aceeași familie sau din familii înrudite (K. Rankama, 1954).

S-a constatat că cantitățile de cenușă în plante și conținutul de metale în cenușă nu sînt proporționale.

Specia de plante aleasă pentru probare trebuie să aibă un larg areal de răspîndire în cadrul regiunii studiate. Ca probă se poate alege orice organ al plantei (rădăcini, tulpini, ramuri sau frunze). În funcție de structura anatomică și caracteristicile fiziologice, diferitele părți vegetative ale plantelor prezintă în cenușă cantități inegale de metale (tabelul X.7).

Tabelul X.7

Conținutul de metale în câteva părți vegetative de *Betula* și *Populus*

Tipul de plante	Părți probate	Cenușa, %	Conținuturi de metal în cenușă, %		
			Fe	Mn	Ti
Mesteacăn (<i>Betula</i>)	frunze	2,9	0,10	0,10	0,02
	lemn	0,3	0,20	0,0	0,06
Plop (<i>Populus</i>)	frunze	2,55	0,5	2,1	0,03
	scoarță	1,28	0,0	2,00	0,0
	rădăcini	1,09	0,10	1,00	0,05

Pentru a se obține date comparative ale chimismului cenușii este necesar ca probele să provină din aceleași organe ale plantei sau ale plantelor. După S. Tissen (1964) elementele chimice se concentrează mai ales în anumite organe ale plantelor. De exemplu: Al — în rădăcini, Mn și Fe — în frunze, Mo — în rădăcini, Ba — în tulpini etc. S-a observat că la *Viola calaminaria* (Viorea) Zn se concentrează în frunze, în timp ce același element se întilnește în rădăcina de *Thlaspi arvense* (Pungulița).

Cele mai sugestive probe cu chimism ridicat sînt frunzele și scoarța, deoarece sînt organe în care se concentrează hrana cu elemente minerale. În schimb, elementele din rădăcină nu sînt concludente și nici probele din acest organ vegetativ.

S-a observat că conținutul metalelor în cenușa plantelor depinde de adîncimea corpurilor de minereu. Cu cît grosimea solului este mai mică, cu atît concentrația în metal din plante este mai mare, funcție directă a adîncimii de penetrare a rădăcinilor prin sol pînă la corpul de minereu (se cunosc cazuri de penetrare a rădăcinilor de la 10 m pînă la peste 25 de m).

Alegerea plantelor de probare trebuie să se facă în funcție de posibilitatea rădăcinilor acestora de a pătrunde în adîncime, în sol. Rezultate concludente se obțin numai atunci cînd colectarea probelor se face pe timp uscat sau în timpul ploilor mici, de scurtă durată.

După conținutul în cenușă, anomaliile biogeochimice utilizează microelemente din aureola de dispersie a zăcămintului, ce urmează a fi identificate.

Dacă se analizează cenușa plantelor de pe zăcămintele de nichel, cobalt, și crom, se poate determina în ea conținutul în Ni, Co și Cr. sau pe zăcămintele polimetale conținutul în Cu, Zn și Pb, în timp ce de pe cele de uraniu conținutul în U.

La zăcămintele de sulfuri (pirită, calcoprită etc.) aureola de dispersie este bogată în Fe, iar conținutul în Fe și Cu din plante crește. De aceea, conținutul ridicat în Fe din cenușa plantelor este un indiciu al prezenței în apropiere a unui zăcămint (fig. X.68).

Rolul de indicator pentru Na, Fe, Ti s-a constatat și în cenușa de *Pinus siberica* dezvoltat pe un substrat al unui zăcămint de pegmatite cu metale rare (fig. X.69).

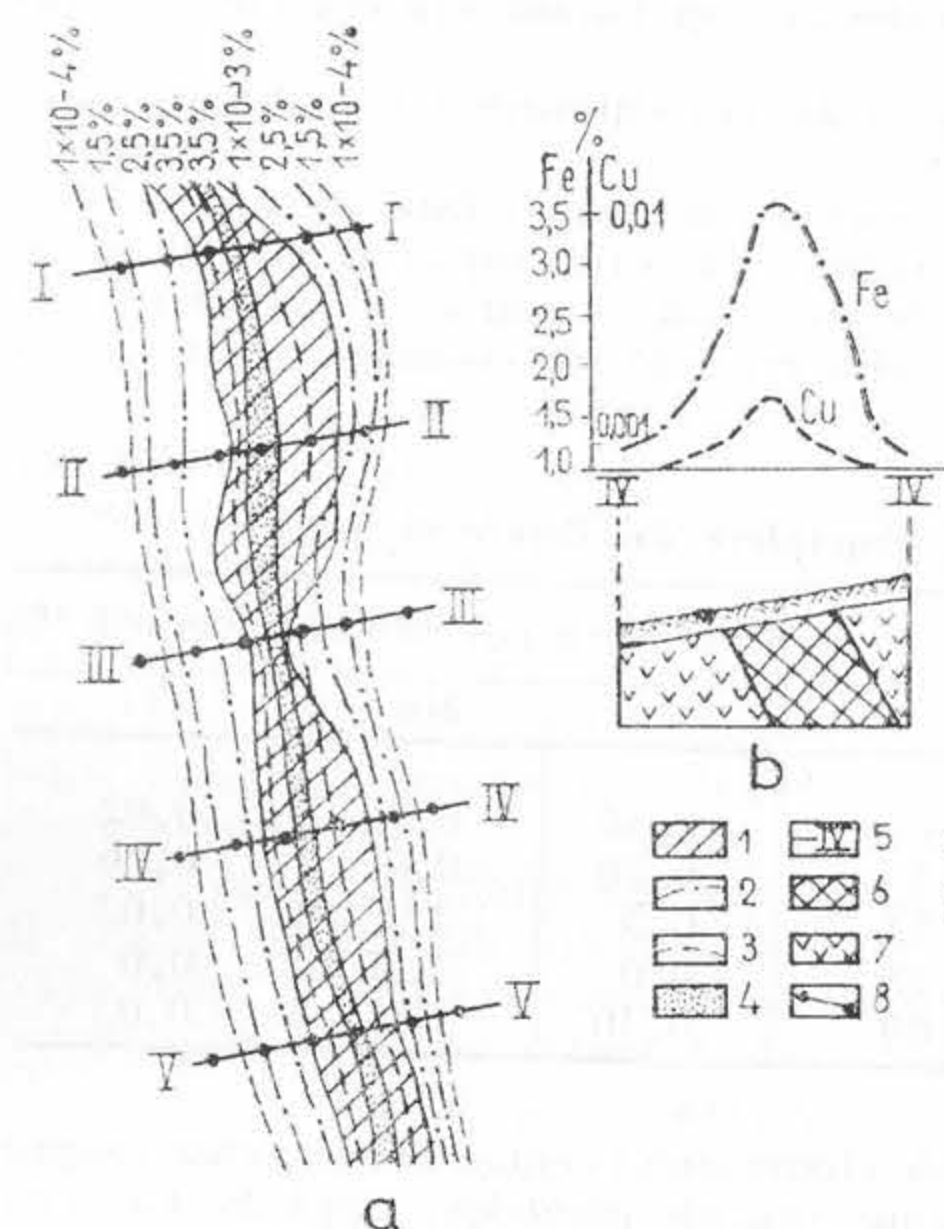


Fig. X.68. Anomalie biogeochimică la un zăcămint de pirită cupriferă din Ural (după A. Veselov):

a—zăcămintul în plan; b—secțiune după linia IV—IV; 1—conturul zăcămintului; 2—izolinia conținutului în Fe din cenușa plantelor; 3—izolinia conținutului de Cu din cenușa plantelor; 4—maxima anomaliei biogeochimice; 5—profilul (aliniamentul) de prospectare; 6—corpul de minereu; 7—roci înconjurătoare; 8—probe din rețeaua de prospectare

Pentru determinarea intensității anomaliilor biogeochimice se impune probarea și a unor exemplare (din aceeași specie) ce cresc în afara zăcămintului, pentru a pune în evidență fondul biogeochimic natural din areal.

Colectarea probelor trebuie să se facă de pe organe ale plantelor ce cresc lângă punctele rețelei ce urmează a fi prospectată. Astfel, pentru probe, plantele ierbacee se colectează integral, dar fără rădăcini. Dacă au dimensiuni prea mari se colectează numai probe din vîrf sau frunze.

Frunzele se culeg din orice regiune a plantei, dar nu de la o înălțime mai mică de 30 cm față de sol.

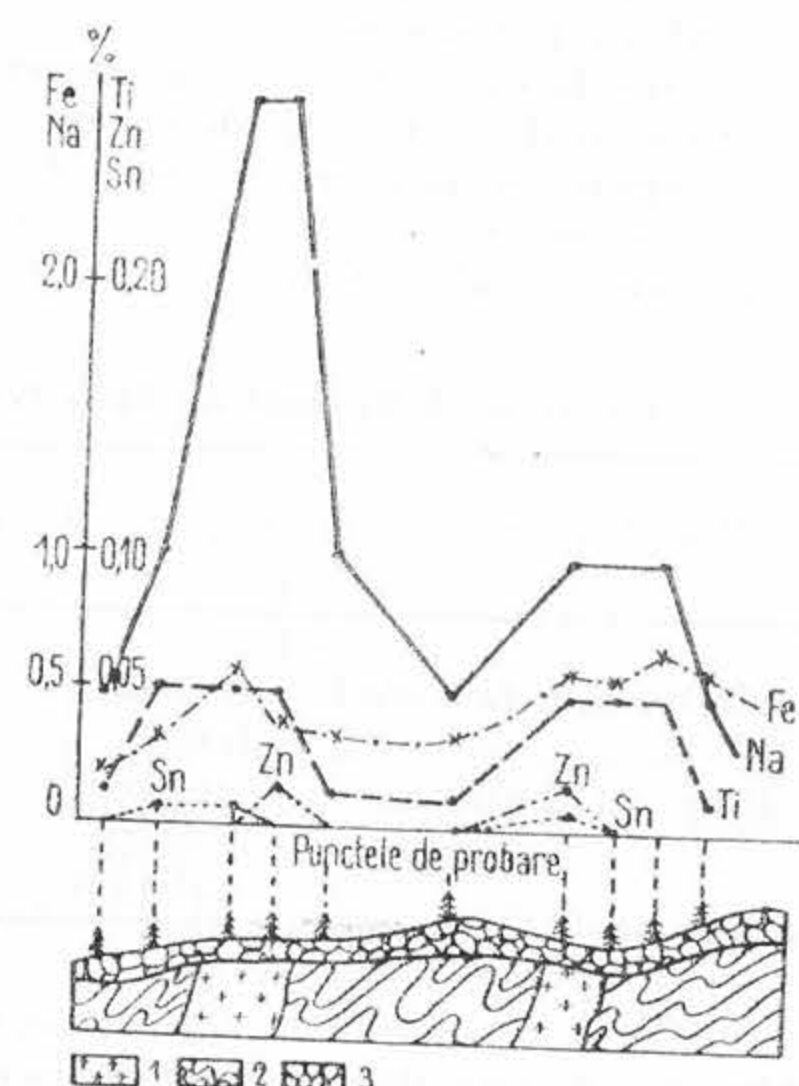


Fig. X.69. Diagramele conținutului de Na, Fe, Ti, Sn și Zn în cenușa de *Pinus siberica* dezvoltat pe un substrat de pegmatite cu conținut în metale rare:

1—pegmatite; 2—sisturi cristaline; 3—formațiuni deluviale.

Pentru prospectarea minereurilor polimetalice, se colectează probe biogeochimice din ramurile de mestecăn (*Betula*) cu grosimi de 3—6 mm și avînd lungimea de 10—20 cm (I. E. Wartington).

Greutatea unei probe trebuie să fie de 40—50 g (în special în cazul frunzelor).

Fișa probelor biogeochimice are următorul conținut: 1. Descrierea zăcămintului sau a regiunii...; 2. Data...; 3. Aliniamentul de prospectare nr... punctul nr...; 4. Caracterul probei de material vegetal colectat.

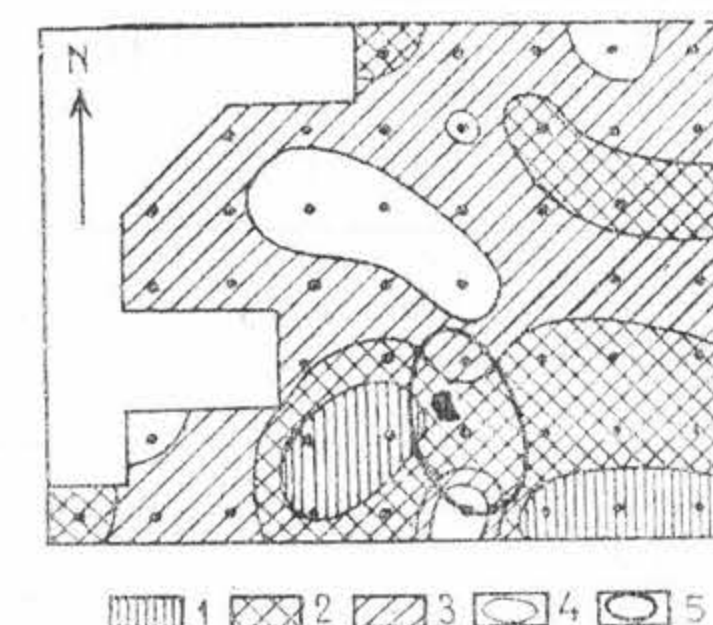


Fig. X.70. Rețea pătrată de prospectiune; analize colorimetrice ale cenușii de *Listris pycnostichia*, în $10^{-3}\%$:

— 200 și mai mult; 2 — 141 — 199; 3 — 100 — 140; 4 — 0 — 99; 5 — limitele zonelor mineralizate.

Registrul probelor cuprinde: 1. Probarea zăcămintului... executată de la data de... pînă la data de...; 2. Denumirea speciei de plantă aleasă; 3. Ce părți din plantă sau colectat...; 4. Numele și prenumele persoanei care a colectat proba; 5. Analiza cenușii plantelor.

Prelevarea probelor de material vegetal se execută pe aliniamente separate de prospectare, pe rețea dreptunghiulară sau rețea pătrată (fig. X.70). Lungimea aliniamentelor de traversare trebuie să aibă 100 m, nu numai în zona minereului, ci și în rocile înconjurătoare.

Rețeau dreptunghiulară se utilizează la prospectarea zăcămintelor de formă tabulară, iar rețeaua pătrată la prospectarea zăcămintelor cu contururi izometrice. Desimea probelor depinde de complexitatea regiunii prospectate, de varietatea rocilor, de forma și de dimensiunile presupuse ale corpurilor de minereu (tabelul X.8) și de plantele alese ca indicatoare.

Desimea rețelei de prospectare prin metoda biogeochimică variază de la 15×15 m la 200×200 m și de la 50×100 m pînă la 200×40 m.

După delimitarea și fixarea rețelei de prospectiune, se întocmește planul la scara 1:1 000 sau 1:5 000, pe care se trec aliniamentele (profilele) de prospectiune și punctele (probele) fixate pe rețea.

Prelucrarea probelor. Prima operație de prelucrare este purificarea probelor de praf care, prin impurități, poate denatura rezultatul analizelor chimice ale cenușii obținute din plante.

După această operație probele se usucă și se macerează sub forma unui detritus vegetal, pînă cînd ajunge un fel de pulbere măruntă.

Arderea probelor se efectuează în cuptoare speciale cu burdof, la temperaturi de 450—500°C, pînă la obținerea cenușii uniforme. Pentru analize diverse este necesară o cantitate de 50—100 mg cenușă și numai 5—10 mg pentru analize spectrale.

Analizele calitative ale cenușii se execută prin metoda microchimică sau prin picurare, precum și prin metode spectrale semicalitative, colorimetrice și polarografice.

Lucrări de birou și întocmirea raportului. În faza de birou se execută planul schematic cu punctele de colectare a probelor biogeochimice, după care se întocmesc hărțile și se completează prin grafice.

Tabelul X.8

Rețeaua de prospecțiune în funcție de dimensiunile corpului de minereu investigat

Forma probabilă a corpurilor de minereu	Dimensiunile probabile în plan a corpurilor de minereu	Rețeaua de prospecțiune, [m]
Mai mult sau mai puțin izometrică	Relativ mari pînă la cîteva hectare	Pătrată: 200 × 200
Izometrică dar cu contur complex	Relativ mari	Pătrată: 100 × 100
Izometrică	Mici	Pătrată: 50 × 50
Alungită	Pe direcție sute de metri, lățimea aflorimentului peste 20 m	Dreptunghiulară: 200 × 50
Alungită	Pe direcție sute de metri, lățimea aflorimentului între 10—20 m	Dreptunghiulară: 100 × 25
Alungită	Pe direcție pînă la 100 m, lățimea aflorimentului sub 10 m	Dreptunghiulară: 100 × 10 sau 50 × 10

Planul schematic se desenează pe calc la scara 1: 1000 sau 1: 5000. Cunoșcînd contururile de fond ale metalelor din cenușa plantelor, se pun în evidență pe hărți anomaliile biogeochimice cu valorile lor maxime. Pentru o claritate mai mare, hărțile biogeochimice se completează cu diagrame speciale (secțiuni sau profile cu conținutul în metale din cenușa plantelor (fig. X.71).

Pe lângă materialele enumerate, raportul trebuie să cuprindă considerații geobotanice, legătura dintre învelișul vegetal și substratul geologic, metodologia aplicată, analizele probelor cu interpretarea anomaliilor, concluziile și recomandările finale. La raport se anexează: harta geologică a regiunii cercetate, planul cu poziția probelor biogeochimice prelevate, secțiunile biogeochimice, schițele cu descrierea lucrărilor miniere executate pentru verificarea anomaliilor biogeochimice.

Interpretarea anomaliilor biogeochimice. O anomalie biogeochimică trebuie să indice conținutul ridicat în cenușa plantelor pentru anumite elemente din minereu. După gradul de intensitate, anomaliile se împart în:

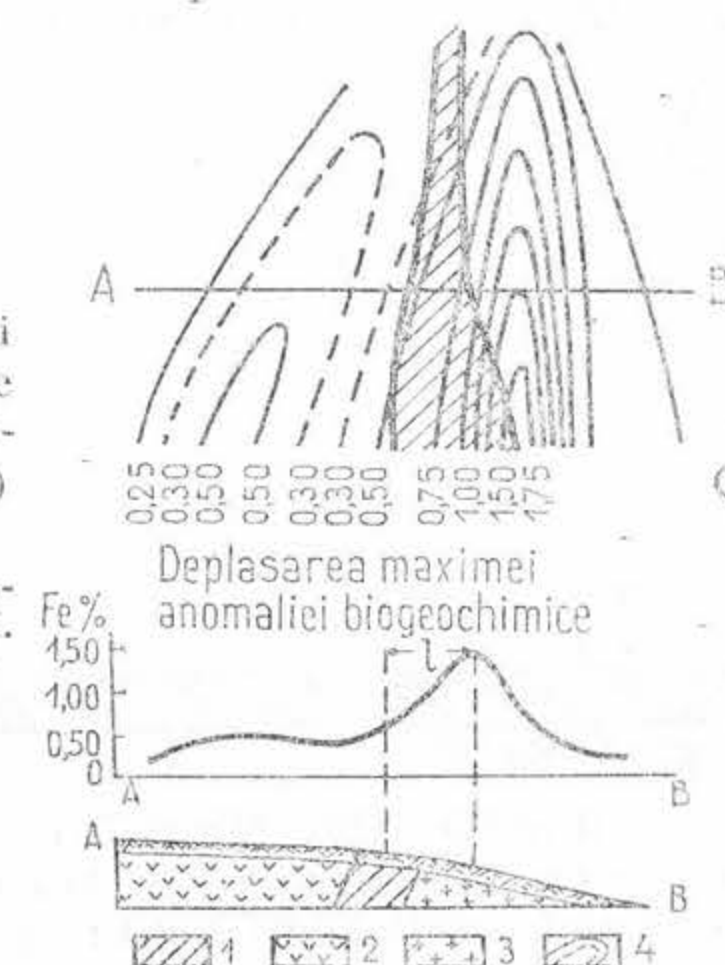
— *anomalii intense*, cu conținut de metale în cenușa plantelor de zeci sau sute de ori mai mare decît conținutul fondului mineralogic;

— *anomalii slabe*, în limitele cărora conținutul de metale în cenușa plantelor este doar de cîteva ori mai mare decît al fondului mineralogic.

S-a observat că anomaliile biogeochimice sînt evidențiate atunci cînd corpurile de minereu sînt plasate la adîncimi mici, sub 25 m, sau cînd există un conținut ridicat de metale în minereuri, precum și atunci cînd mineralele din minereu trec ușor în minerale secundare sau sînt mai puțin solubile în apă.

Fig. X.71. Harta biogeochimică a zăcămintului de fier de la Nikolsk (a) completată cu secțiune geologică după linia A—B și diagrama conținutului în fier din cenușa de mestecăn (*Betula*) (b):

1 — corpul de minereu; 2 — skarn; 3 — monzonite; 4 — izoconcentrate de Fe în cenușa de *Betula*, în % (după S. M. Tkalic).



Anomaliile biogeochimice slabe sînt evidențiate cînd:

— corpul de minereu, deși este plasat la adîncime mică (25 m), prezintă un conținut scăzut în metale;

— condițiile climatice nu favorizează procesele de alterare chimică sau organică;

— rocile au permeabilitate mare, formînd în jurul zăcămintelor aureole de dispersie a sărurilor cu concentrații mici de metale. În funcție de condițiile hidrologice și hidrogeologice, plantele pot să prezinte în cenușa lor concentrații mari în anumite metale, cu toate că zăcămintele sînt sărace.

S-a observat că, la un zăcămint de crom, conținutul în Cr din cenușa plantelor variază de la 0,08 la 0,20%, acolo unde minereul nu depășește adîncimea de 10—15 m, pe cînd același conținut scade între 0,01—0,05% la adîncimea de peste 15 m.

Formarea unor astfel de anomalii este legată de aureole primare sau secundare de dispersie ale zăcămintului. Deoarece conținutul de metale în aureole se micșorează pe măsura îndepărtării de corpul de minereu, și conținutul de metal în plantele ale căror rădăcini pătrund în aceste aureole depinde de adîncimea corpului de minereu. Uneori se constată anomalii biogeochimice slabe, legate de minereuri bogate situate aproape de suprafață, așa cum este cazul zăcămintului de titanomagnetit de lângă lacul Baikal (fig. X.72). Cu toate că în acest zăcămint conținutul de Fe și Ti din cenușa plantelor este mai mare decît conținutul fondului, anomalia biogeochimică este totuși mai slabă (S. M. Tkalic). Faptul se datorește mineralelor constituențe ale zăcămintului, puțin propice transformărilor în zona de hipergeneză.

De multe ori, mărimile anomaliilor biogeochimice ale minereurilor se plasează la oarecare distanță de corpurile de minereu. Acest proces se explică prin conținutul neuniform în metale din zona aureolelor prin dispersii mecanice sau hidraulice.

S-a observat că anomaliile biogeochimice precizează mai bine poziția corpurilor de minereu decât anomaliile litochimice care dau limite destul de deplasate față de arealul corpului de minereu. Suprapunerea între anomalii se obține când probele metalometrice sînt prelevate din humusul solului (fig. X.73).

Utilizarea metodei biogeochimice la prospectarea zăcămintelor de minereuri
Metoda biogeochimică se utilizează în prospecțiunea minereurilor atunci când metodele litogeochimice nu dau rezultate pozitive. Acest lucru se constată atunci când:

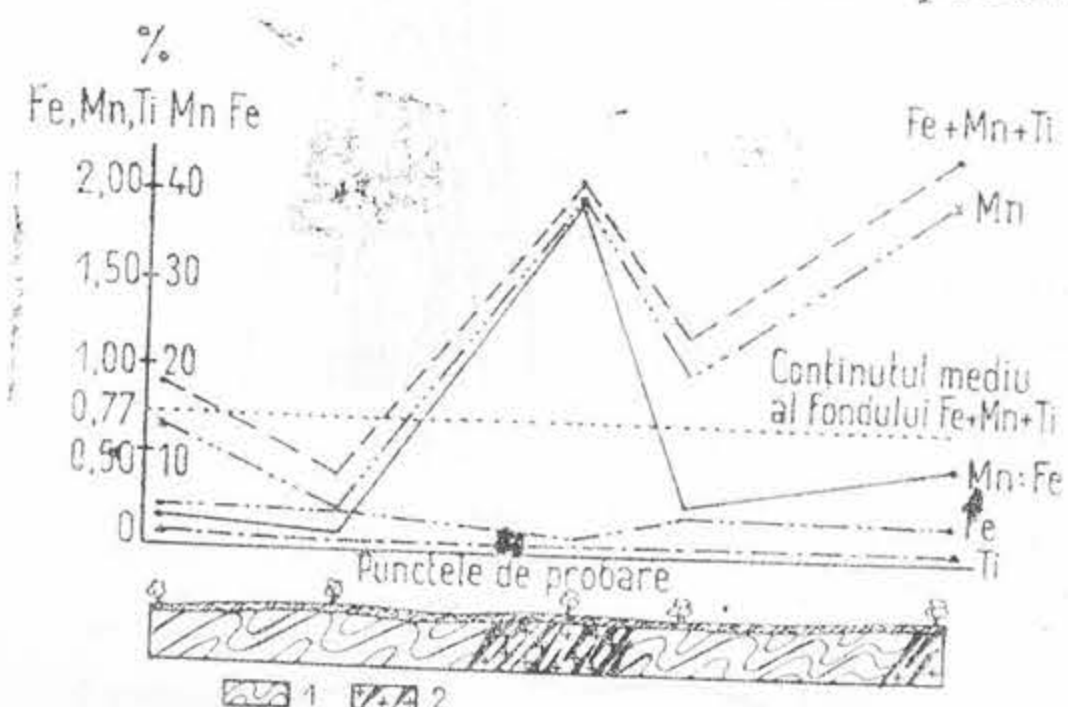


Fig. X.72. Conținutul de Fe, Mn și Ti în cenușa mestecănușului (*Betula la verrucosa*) într-un zăcămint de titanomagnetit:

1 — roci metamorfice; 2 — titanomagnetit în gabouri.

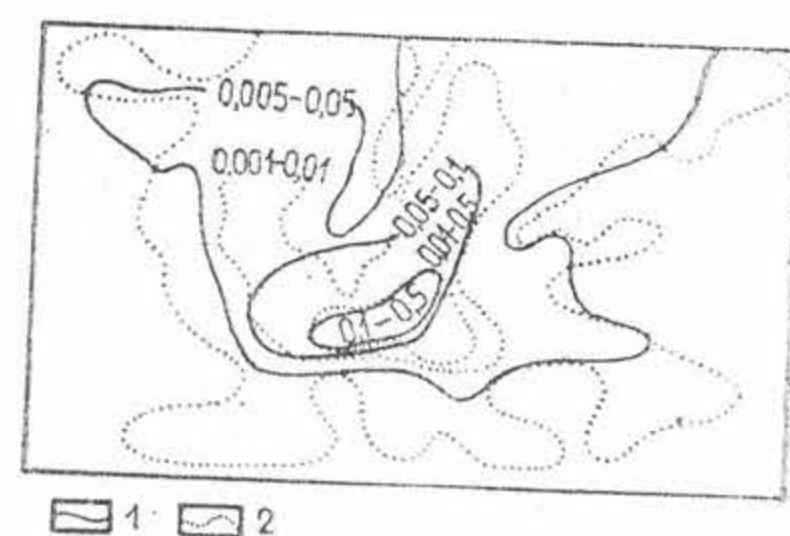


Fig. X.73. Suprapunerea anomaliilor geochimice determinate după analizele solului și cenușa plantelor la un zăcămint din Altai cu izolinile conținutului în plumb, în %:

1 — în sol; 2 — în cenușa plantelor.

— corpurile de minereu se plasează la adîncime mică și nu au la suprafață aureole de dispersie;

— când corpurile de minereu și rocile înconjurătoare sînt acoperite de depozite aluvionare sau când în arealul zăcămintului apar podzoluri.

Metoda biogeochimică poate fi folosită și la descifrarea anomaliilor geofizice. Prin această metodă a fost conturat un zăcămint din Munții Ural, după conținutul de Cu și Fe din cenușa plantelor. Corpul de minereu se afla sub depozite cu grosimi de 6 până la 10 m (A. A. Veselov). Într-o altă regiune, din Finlanda, s-a demonstrat că la grosimea depunerilor mlăștinoase de 3—7 m conținutul de molibden în frunzele de *Ledum palustre* (Șoaldină) este influențat direct de distribuția Mo în roca din culcuș.

Se apreciază că adîncimea de utilizare a metodei biogeochimice cu rezultate pozitive în descoperirea corpurilor de minereu este de 30 la 50 m (A. P. Vinogradov).

Cele mai favorabile obiective pentru prospecțiunile biogeochimice sînt sulfurile și alte minereuri. Prin procese de oxidare se obțin produse solubile de alterare accesibile, sub formă de hrană, pentru plante. Aceeași metodă poate fi extinsă și în prospectarea zăcămintelor nemetalifere și chiar în cartările geologice. După conținutul în Fe din cenușa cetinei de brad (*Abies sibirica*) s-au putut stabili limitele cartografice dintre formațiunile sedimentare de vîrstă carboniferă și corpurile eruptive diabazice, depozitele fiind acoperite și ascunse sub aluviuni (fig. X.74).

S-a constatat că nu toate zăcămintele dau anomalii concludente. După Vinogradov, îmbogățirea plantelor și solurilor cu anumite elemente chimice depinde de multe cauze și înainte de toate de faptul dacă plantele cresc direct pe minereuri sau în apropierea lor. Experiența însă a arătat că plantele se îmbogățesc în metale de sute de ori în limitele cîmpurilor de minereu. Dar îmbogățirea chiar numai de 10 ori indică o mineralizare bogată. În acest caz are importanță schimbul de apă în plante, prezența rădăcinilor adînci, în special la plantele care trăiesc mai mulți ani. Prin

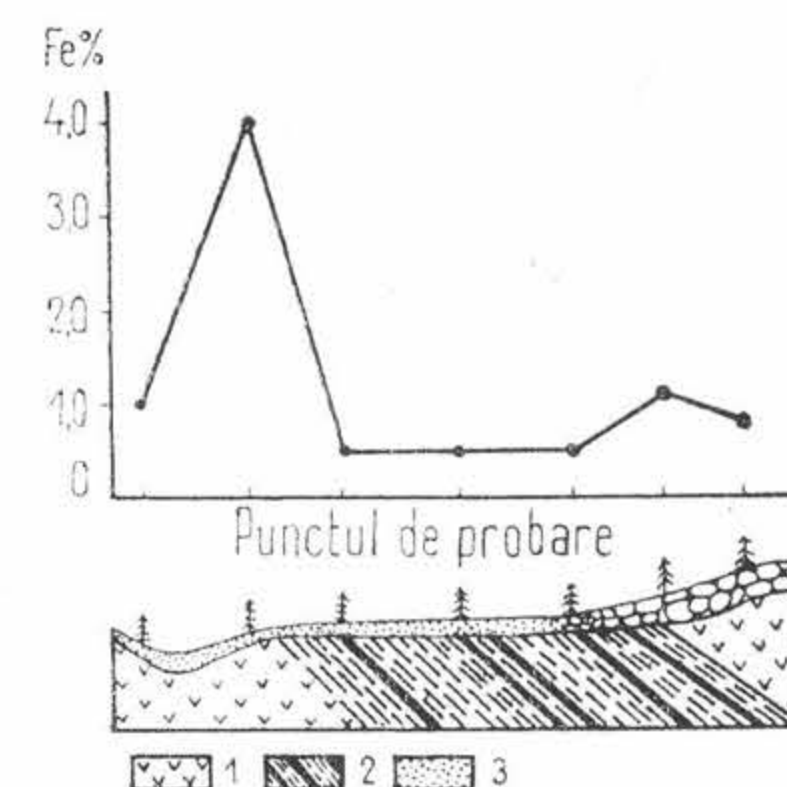


Fig. X.74. Diagrama conținutului în Fe din cenușa de *Abies sibirica* în zăcămintul de la Kokuisk:

1 — eruptiv; 2 — formațiuni sedimentare de vîrstă carboniferă; 3 — aluviuni.

metoda biogeochimică este posibilă determinarea mineralizației pînă la adîncimea maximă de 100 m. Această metodă poate fi utilizată nu numai pentru prospectarea elementelor chimice ca Ni, Co, Zn, Pb, Cu, Sn, Ag, Cr, Mn, Fe, Au, W, Mo, U, V, ci și pentru alte elemente cum ar fi Se, Be, Sr, Ba.

În ultimul timp, numeroasele regiuni prospectate prin metoda biogeochimică au lumie reliefează utilitatea practică a acestei metode.

XI. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Prof. dr. decent, ing. ARON POPA

1. OBIECTIVELE ȘI CLASIFICAREA EXPLORĂRII, ÎNTOCMIREA PROIECTELOR LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

1.1. OBIECTIVELE EXPLORĂRII

După ce zăcămintul de substanțe minerale utile a fost descoperit prin lucrările de prospecțiune, se trece la o etapă superioară a procesului de cunoaștere a acestuia care este *explorarea*.

Explorarea cuprinde totalitatea lucrărilor necesare pentru a contura rezervele industriale de substanțe minerale utile și preciza condițiile de exploatabilitate a zăcămintului.

Explorarea are ca obiective:

- stabilirea rezervelor de substanțe minerale utile, atât cantitativ cât și calitativ. În acest scop lucrările de explorare trebuie să pună în evidență forma zăcămintului extinderea sa pe orizontală și pe verticală, direcția și înclinarea lui, variațiile în continuitate, variația conținutului și componentilor utili, caracterul rocilor înconjurătoare, tectonica zăcămintului, hidrogeologia, caracterul mineralizației etc.;

- stabilirea datelor privind utilitatea zăcămintului în condițiile unei exploatare raționale, precum și posibilitatea transformării substanței minerale utile în produs finit;

- să furnizeze toate datele necesare proiectării unei întreprinderi miniere.

1.2. CLASIFICAREA LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

Lucrările de explorare pot fi clasificate după scopul și precizia lor, după metodele de lucru și după natura substanțelor minerale căutate (tabelul XI.1).

a. După **scopul și precizia lucrărilor**, explorarea se împarte în etape: explorarea preliminară, explorarea amănunțită sau de detaliu și explorarea de pregătire sau de extindere.

Explorarea preliminară. Este prima etapă a explorării și are ca obiectiv descifrarea în linii generale a formei zăcămintului și determinarea aproximativă a rezervelor acestuia.

Ea constă din lucrări mai puțin voluminoase, care se amplacează pe toată extinderea zăcămintului, urmărind să determine cu aproximație:

- forma și extinderea zonei mineralizate;
- adâncimea la care se găsește zăcămintul față de suprafață;
- caracteristicile geometrice ale zăcămintului;

- natura mineralizației și variația acesteia pe direcție și înclinare;
 - caracteristicile rocilor înconjurătoare.
- Pe baza acestor elemente se face o evaluare economică a zăcămintului.

Tabelul XI.1

Clasificarea lucrărilor de explorare

Criterii de clasificare	Felul explorării
a. După scopul lucrărilor și gradul de aprofundare	Explorare preliminară Explorare amănunțită Explorare de pregătire și în extindere
b. După metodele de lucru	Explorare prin lucrări miniere Explorare prin foraje Explorare combinată
c. După natura substanțelor utile	Explorarea zăcămintelor de minereuri Explorarea zăcămintelor de cărbuni Explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere și roci utile

Cu această evaluare se încheie etapa explorării preliminare și se întocmește proiectul explorării de detaliu.

Metodologia de explorare preliminară trebuie adaptată la caracteristicile zăcămintului căutat, care sînt foarte diferite. Totuși se pot deosebi două metode generale care pot fi aplicate la varietatea mare a condițiilor de zăcămint, și anume:

- metoda directă, care cuprinde lucrările sistematice ce constau din puncte de interceptare izolate sau rețele uniforme, ce pot conduce la rezolvarea detaliilor fie direct, fie completate cu puncte secundare de interceptare;

- metoda indirectă, care constă în formularea unei ipoteze privind extinderea zăcămintului bazată pe argumente geologice și întocmirea proiectului de explorare.

În realitate, apar însă cazuri cînd nu se poate formula o ipoteză asupra zăcămintului sau cînd argumentele sînt contradictorii. De aici necesitatea de a separa explorarea preliminară în două subfaze:

- *explorare preliminară pregătitoare*, care cuprinde: cartări, lucrări miniere ușoare de suprafață, scurte galerii, lucrări geofizice și geochimice și, de la caz la caz, unele lucrări de referință;

- *explorarea preliminară principală*, subfază în care se determină principalii parametri pentru studiul tehnico-economic de etapă. Se promovează o mare parte din rezervele probabile sau de categoria C și se conturează părțile accesibile ale zăcămintului, precum și caracteristicile acestuia (hidrogeologia, permeabilitatea etc.). Această subfază se caracterizează printr-un volum mare de lucrări, și este de lungă durată.

Explorarea amănunțită (de detalia). Această etapă aduce o precizie mai mare în cunoașterea elementelor caracteristice ale zăcămintului, pe baza cărora se stabilesc

rezervele cantitativ și calitativ și repartizarea acestora pe sorturi și sectoare, și se stabilesc caracteristicile tehnologice ale substanței minerale utile.

În funcție de gradul de uniformitate al mineralizației și de gradul de regularitate al zăcămintului, explorarea de detaliu poate fi făcută într-o singură fază sau în două faze — una de interceptare prin lucrări transversale și una de deschidere și urmărire continuă.

Explorarea de detaliu nu încetează odată cu începutul exploatării ci continuă până la determinarea rezervelor pe panouri de exploatare.

Explorarea de pregătire și în extindere. Se execută, de obicei, în timpul exploatării zăcămintului. În această etapă se face și pregătirea zăcămintului pentru exploatare. Explorarea de pregătire are rosturi diferite, după tipul zăcămintelor și după nevoile exploatării. În unele cazuri este o pregătire a exploatării sistematice în zone încă neexploatate sau în adâncime, dând ultimele precizări despre structura zăcămintului, pentru exploatarea rațională a acestuia. În alte cazuri, la zăcămintele în exploatare, ea reprezintă extinderea explorării în zonele vecine și pregătirea pentru exploatarea propriu-zisă.

Această succesiune a explorării pe etape nu se aplică strict în practică. În timpul explorării, aceste etape se întrepătrund, se pot executa concomitent sau una din ele poate chiar lipsi, când rezultatele etapei precedente conduc la concluzii favorabile, fără a mai fi nevoie de alte lucrări.

b. După **metodele de lucru**, explorarea se împarte, ținând seamă de felul lucrărilor, în: explorarea prin lucrări miniere, explorarea prin foraje și explorarea prin lucrări combinate (miniere și foraje).

Explorarea prin lucrări miniere se realizează prin diferite lucrări cum sunt șanțurile, tranșeele, puțurile, galeriile, nișele, jompurile, planele înclinate, suitorile și coborâturile.

Metoda de explorare prin lucrări miniere se aplică în cazul zăcămintelor cu înclinare mare care afloră și, în general, al zăcămintelor situate la adâncime mică față de suprafață.

Ea prezintă mari avantaje, fiindcă asigură cea mai bună cunoaștere a unui zăcămint.

Explorarea prin foraje. Lucrările de foraj se aplică pe scară mare în cercetarea zăcămintelor de diferite tipuri. De regulă se aplică la explorarea zăcămintelor de adâncime și în toate cazurile când nu este posibilă cercetarea prin lucrări miniere, sau când acestea sunt prea scumpe. Amplasarea lorajelor la suprafață se face pe baza indicațiilor obținute prin lucrările de prospecțiune. Forajele prezintă avantajul că se execută mai rapid și sunt mai ieftine decât lucrările miniere.

Explorarea combinată. Este cea mai folosită și cea mai indicată, în special în faza explorării de detaliu.

Lucrările miniere și de foraj pot fi executate concomitent sau succesiv.

c. După **natura substanțelor minerale utile** se disting: explorarea zăcămintelor de minereuri (fier, mangan, zăcămintele polimetale etc.), explorarea zăcămintelor de cărbune, explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere.

Natura diferită a zăcămintelor și a condițiilor în care se găsesc localizate în scoarță impune anumite lucrări și o metodologie specifică fiecărui tip sau grupă de zăcămintele.

Pe baza rezultatelor obținute în activitatea de explorare, ținând seama de particularități ce caracterizează un tip sau o grupă de zăcămintele, se poate alege metoda de explorare cea mai indicată.

Explorarea zăcămintelor de minereuri. Minereurile, în funcție de factorii naturali care determină metodologia lucrărilor de explorare, pot fi împărțite convențional în trei grupe:

— grupa I, care cuprinde zăcămintele mari și foarte mari, cu formă constantă, fără deranjamente și cu repartiția uniformă a componentelor utili;

— grupa a II-a careia îi aparțin zăcămintele cu dimensiuni mari și mijlocii, cu grosimi variabile și mineralizare continuă sau discontinuă;

— grupa a III-a cuprinde zăcămintele cu structură și formă complicată, cu mineralizație discontinuă și cu o repartiție foarte variată a componentelor utili.

Explorarea zăcămintelor de cărbuni. Zăcămintele de cărbuni apar, în general, sub formă de strate, uneori cutate sau faliolate; în consecință și explorarea lor diferă de a celorlalte zăcămintele de substanțe minerale utile, care apar sub alte forme (lentile, stockuri, filoane etc.)

Explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere și rocii utile. Substanțele minerale nemetalifere și rocile utile se caracterizează prin corpuri de formă neregulată și extindere variabilă. Explorarea lor se face prin lucrări miniere și foraje.

1.3. ÎNTOCMIREA PROIECTELOR LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

Proiectul lucrărilor de explorare trebuie să cuprindă în esență:

- baza geologică, geografică și economică existentă;
- tema lucrărilor de explorare și problemele care au rezultat din verificarea ipotezelor emise pe baza datelor geologice cunoscute anterior;
- soluțiile existente și cele estimate pentru rezolvarea problemelor explorării;
- planificarea executării lucrărilor de explorare.

Pentru lucrările de explorare se pot întocmi: proiecte generale, proiecte de etapă și proiecte anuale.

Proiectul general de explorare cuprinde întregul program de lucrări de explorare până la studiul tehnico-economic de etapă, sau până la darea în exploatare a zăcămintului.

Proiectul de etapă pregătitoare cuprinde volumul de lucrări de explorare necesar pentru clarificarea perspectivei unui perimetru și cunoașterea în linii generale a structurii și extinderii zăcămintului.

Proiectul anual cuprinde numai lucrările de explorare ce pot fi executate în cuprinsul unui an. Lucrările planificate anual sunt defalcate din cele care reprezintă o etapă de explorare.

Proiectele se întocmesc pentru fiecare sector de explorare și conțin devizele necesare decontării lucrărilor.

Tema proiectului de explorare cuprinde, în general, sarcina rezolvării unei anumite probleme de explorare, condițiile de lucru și devizele lucrărilor.

Scopul urmărit prin proiectele de explorare este de a găsi soluțiile optime de execuție a lucrărilor pentru cercetarea unui zăcămint și o dirijare judicioasă a acestora pentru obținerea celor mai bune rezultate. În acest sens ele trebuie să cuprindă, pentru fiecare lucrare în parte, *volumul fizic* proiectat, exprimat în metri liniari reali și convenționali, și *volumul valoric*, exprimat în lei deviz și valori comparabile.

În ceea ce privește fondurile din care se vor finanța lucrările de explorare, acestea pot fi fonduri de investiții sau de producție.

Ca formă de întocmire, proiectele constau din două părți: partea *geologică* și partea de *deviz*.

Rezultatele obținute într-o anumită etapă de lucrări sunt cuprinse în *rapoarte* care pot fi: *anuale*, cu caracter informativ, și *rapoarte de sinteză*, care se întocmesc

de obicei pentru o perioadă de câțiva ani.

Rapoartele de sinteză conțin următoarea schemă, formată din patru părți:

Partea I-ii — care se referă la situația geologică, cuprinde: date generale asupra regiunii în care este situat zăcămintul; geologia regiunii, geologia zăcămintului, caracteristicile calitative și tehnologice ale substanței minerale utile, condițiile hidrogeologice ale zăcămintului, condițiile tehnico-miniere de exploatare și concluzii.

Partea a II-a — se referă la calculul rezervelor, cuprinzând: metodologia de probare, determinarea parametrilor și calculul rezervelor, concluzii.

Partea a III-a — cuprinde anexele la text, situația topografică etc.

Partea a IV-a — cuprinde tabelele și materialul grafic referitoare la situația geologică, hidrogeologică, calculul rezervelor etc.

2. EXPLORAREA PRIN LUCRĂRI MINIERE

2.1. CRITERII DE PROIECTARE A LUCRĂRILOR MINIERE DE EXPLORARE

Lucrările miniere dau posibilitatea cercetării minuțioase a constituției și structurii complicate, obișnuite în zăcămintele de minereuri și pot fi readaptate în vederea extinderii cercetării zăcămintului explorat și pus în exploatare. În mare parte, lucrările miniere de explorare vor putea deservi și viitoarea exploatare. În acest scop, ele trebuie concepute și executate pe baza unui proiect, în care să fie studiat ansamblul lucrărilor geologice în raport cu zăcămintul și condițiile de exploatare. În proiect trebuie să se efectueze un calcul tehnico-economic, pe baza căruia să se tragă concluzia dacă acestea pot fi de la început construite pentru o durată mai lungă sau dacă este mai economic să fie abandonate și apoi reconstruite.

Condițiile care trebuie îndeplinite de lucrările miniere de explorare sînt următoarele:

- să se execute suficient de rapid pentru a nu lăsa investiții mari neproductive timp îndelungat;
- să fie efectuate pe baza unei documentații în care să se prevadă secțiunea, punctul de pornire, direcția, panta, canalul și alte date privind: săparea, transportul, aerajul etc., și specificarea privind utilizarea și durata;
- să poată fi readaptate pe parcurs;
- să fie evitată, pe cît posibil, plasarea lor în zone cu roci friabile sau care se dezagregă ușor, deoarece în afară de dificultățile în timpul lucrului, întreținerea lor este mai grea;
- să se țină seama de posibilitatea utilizării lor în viitoarea exploatare și de durata lor. Sub acest aspect se disting următoarele categorii de lucrări miniere:

- a) *Lucrări de durată lungă, care necesită întreținere*, categorie în care intră:
 - lucrări de acces principal la zăcămint, de aeraj principal, de evacuare a apelor; lucrări de amenajare principale (galerii de pătrundere sau de legătură, de lung metraj); puțuri de transport și de aeraj; amenajări speciale (bazine de colectare a apelor, remize, depozite de explozivi etc.);
 - lucrări de trasaj, de deschidere și de legătură (galerii transversale și galerii direcționale, suitori, rostogoluri).
- b) *Lucrări de durată lungă care nu necesită întreținere*: galerii transversale; galerii direcționale; suitori și rostogoluri.

c) *Lucrări de durată problematică*: galerii de cercetare; suitori de cercetare.

d) *Lucrări de durată mică, cu scop limitat*: șanțuri, puțuri de mină, breșe de cercetare, jompuri de cercetare, camere pentru instalația de foraj etc.

În proiectele generale trebuie justificate lucrările miniere, în special cele de lungă durată, de lung metraj sau cu costuri ridicate. Se vor mai prezenta și variante de lucrări miniere mai complete, care ar putea să deservească în continuare explorarea de detaliu sau chiar exploatarea.

Este recomandabil ca orice lucrare minieră proiectată să fie încadrată de la început în clasele de mai sus și să fie dimensionată și tratată în mod corespunzător.

În mod avantajos se pot explora, prin lucrări miniere, zăcămintele puțin înclinate de mică adîncime și zăcămintele de înclinare mare, dezvoltate în terenuri cu relief pronunțat deasupra nivelului văilor.

În general, ținînd seama de aceste condiții de zăcămint, în proiectarea lucrărilor de explorare se aplică:

- explorarea prin puțuri de mină amplasate pe aliniamente (linii) de explorare sau în rețea, pentru zăcămintele orizontale și puțin înclinate;
- explorarea prin lucrări de suprafață (șanțuri, puțuri de mină) și apoi în adîncime prin puțuri de explorare, galerii, suitori, coboritori și plane înclinate pentru zăcămintele cu înclinare mare.

Metodologia explorării prin lucrări miniere are la bază următoarele operații:

- alegerea tipurilor de lucrări de explorare, ținînd seama de forma și așezarea zăcămintului în scoarță;
- alegerea modului de amplasare a lucrărilor miniere;
- stabilirea intervalelor și a modului de probare a zăcămintului;
- alegerea scării planurilor topografice și documentarea geologică a lucrărilor miniere.

Lucrările miniere de explorare prezintă avantajul că în bună parte pot fi folosite în faza de exploatare, iar din punct de vedere tehnic și științific asigură cea mai bună cunoaștere a unui zăcămint. În anumite situații însă, datorită costului ridicat al acestora, sînt recomandabile forajele.

2.2. TIPURI ȘI SECȚIUNI DE LUCRĂRI MINIERE DE EXPLORARE

Lucrările miniere de explorare sînt: șanțurile, tranșeele, puțurile de mină, puțurile de explorare, galeriile, planele înclinate, suitorii și coboritorile.

Dintre acestea, șanțurile, tranșeele și puțurile de mină se folosesc și în prospecțiune.

În condiții optime se explorează cu lucrări miniere zăcămintele cu înclinare mare, care aflorează sau sînt situate într-un relief accidentat, precum și cele cu înclinare mică, dacă nu sînt situate la adîncime prea mare de suprafață; în primul caz explorarea se continuă prin lucrări combinate: șanțuri, galerii, puțuri și suitori; în al doilea caz, primele lucrări vor fi puțurile sau planele înclinate, după care se continuă explorarea prin lucrări combinate: galerii și puțuri sau plane înclinate.

Forma, dimensiunile de săpare a lucrărilor miniere și modul de susținere a acestora sînt determinate de obiectivul urmărit, de natura formațiunilor prin care se sapă și de durata de existență precum și de lungimea proiectată a lucrării miniere respective. Toate acestea sînt reglementate prin Norme ale Ministerului Geologiei (tabelul XI.2)

Secțiuni și profile de săpare ale lucrărilor miniere de

Secțiunea de săpare (S) pentru

Torcret sau nesuținut		Lemn		Metal				Beton			
				Normal		Circular		Normal		Potcoavă	
Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GALERII											
G1T	2,30	G1L	3,50	—	—	—	—	—	—	—	—
G2T	3,50	G2L	5,00	—	—	G2Mc	5,60	—	—	—	—
G3T	4,50	G3L	6,20	G3M	6,20	—	—	—	—	—	—
G4T	5,60	G4L	6,80	G4M	6,80	G4Mc	6,70	G4B	7,30	G4Bp	7,30
G5T	6,80	—	—	—	—	G5Mc	9,00	G5B	8,50	G5Bp	8,50
G6T	8,00	—	—	—	—	—	—	—	—	G5Bp	8,50
G7T	9,40	G7L	9,70	—	—	—	—	G7B	11,50	G7Bp	12,40
G8T	11,00	—	—	—	—	—	—	G8B	13,10	G8Bp	15,30
PLANE ÎNCLINATE											
PL1T	5,20	PL1L	6,70	PL1M	6,70	—	—	—	—	—	—
PL2T	8,00	—	—	—	—	PL2Mc	9,00	—	—	—	—
SUITORI											
S1T1	3,20	S1L	5,10	—	—	—	—	—	—	—	—
S2T1	5,10	S2L	6,70	S2Tm	5,10	S2Mc	6,70	—	—	—	—
PUȚURI											
—	—	P1L	2,20	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	P2L	3,60	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	P3L	5,50	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelul XI.2

explorare, modul de susținere și de utilizare a acestora

sustinerea cu [m ²]				Ø tub aeraj [mm]	Mijloc de încărcare	Mijloc de transport		Lungimea maximă a lucrării [m]
ton		Circular				Tipul locomotivei	Capacitate vagonet [m ³]	
Vatră închisă								
Simb.	S	Simb.	S					
13	14	15	16	17	18	19	20	21
—	—	—	—	—	Manual	—	—	<5
—	—	—	—	400	Manual	—	0,6	6—50
—	—	—	—	400	MIP-2	LAM-4	1,0	51—500
G4Bv	3,00	G4Bc	8,00	600	MIP-2	LDM-45	1,0	501—1500
G5Bv	9,30	G5Bc	10,20	600	MIC-3	LM-7	3,0	1501—3500
G5Bv	9,30	—	—	600	MIB	LM-14	7—11	> 3500
G7Bv	14,00	—	—	600	MIC-3	LM-7	1,0	—
G8Bv	18,30	—	—	600	MIB*	LM-14	3,0	—
—	—	PL1Bc	8,00	600	Manual	Trolu	1,0	≤250
—	—	PL2Bc	10,20	600	—	—	—	—
—	—	S1Bc	5,10	400	—	—	—	≤20
—	—	S2Bc	6,70	500	—	—	—	≤300**
—	—	—	—	—	Manual	—	—	≤5
—	—	—	—	—	Manual	—	—	5—15
—	—	—	—	300	Manual	—	—	15—30
—	—	P4Bc	17,30	600	Graifăr	—	0,6	< 100
—	—	P5Bc	20,40	2×600	Graifăr	—	1,0	100—400
—	—	P6Bc	25,50	2×600	Graifăr	—	1,0	>500

sau ale Ministerului Minelor (pentru lucrările geologice prin lucrări miniere care au acces din incinta exploatărilor miniere și se execută în regie proprie a acestora).

Alegerea tipului de lucrări miniere (șanțuri, tranșee, puțuri, galerii etc.) depinde de forma și poziția zăcămintului (corpului de substanță minerală) precum și de grosimea rocilor acoperitoare.

2.2.1. ȘANȚURI ȘI TRANȘEE DE EXPLORARE

2.2.1.1. Șanțuri de explorare

Sînt lucrări miniere de explorare simple și ușor de executat. Ele se execută în etapa explorării preliminare ca și în faza de prospecțiune, cînd rocile acoperitoare au grosimi de 0,5–4 m și cînd înclinarea zăcămintului este, în general, mare.

Obiective urmărite. Șanțurile de explorare se folosesc în etapa de explorare preliminară, urmărind în principal verificarea și completarea datelor din prospecțiune, date referitoare la:

- delimitarea mineralizației și a contactului dintre aceasta și rocile înconjurătoare;
- verificarea și trasarea mai exactă a liniei de afloriment;
- determinarea elementelor de poziție și geometrice ale corpului de substanță minerală utilă: direcție, înclinare, grosime, lungime etc.;
- completarea secțiunilor geologice;
- probarea corpului de substanță minerală utilă;
- cercetarea anomaliilor geofizice și geochimice;
- verificarea grosimii depozitelor acoperitoare;
- traversarea zonei alterate din cadrul unui afloriment etc.

Rezultatele obținute din șanțurile și tranșeele de explorare reprezintă argumente pentru amplasarea lucrărilor următoare, urmărindu-se totodată completarea informațiilor la suprafața corpului de substanțe minerale utile.

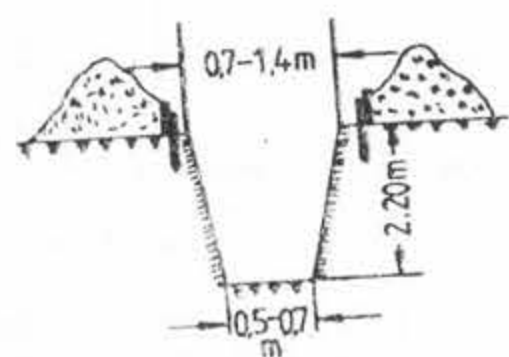


Fig. XI.1. Șanț de explorare cu profil trapezoidal.

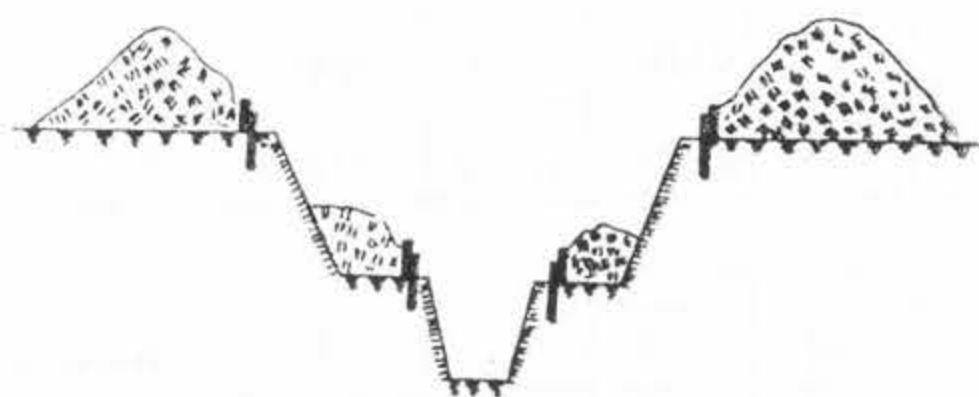


Fig. XI.2. Șanț de explorare cu pereții în trepte (secțiune transversală).

Forma și dimensiunile șanțurilor de explorare depind de tăria și grosimea formațiunilor acoperitoare. De obicei au profil trapezoidal, cu baza mică cuprinsă între 0,5 și 0,7 m, iar lățimea la gură de 0,7–1,4 m (fig. XI.1). Adâncimea șanțurilor nu depășește 2–4 m. La adâncimi de peste 2 m șanțurile se sapă în trepte (fig. XI.2).

Înclinarea pereților este de 1/10–1/5, în funcție de tăria rocilor. Lungimea șanțurilor este în funcție de obiectivul urmărit.

Șanțurile trebuie să pătrundă la bază în roca vie sau în mineralizație pe o adâncime de 0,10–0,50 m, putînd avea vatra orizontală sau înclinată, în funcție de configurația reliefului terenului în care se sapă.

Amplasarea șanțurilor de explorare. Șanțurile de explorare se utilizează în următoarele condiții:

- pentru zăcămintele de formă tabulară cu înclinare mare;
- pentru zăcămintele mascate de depozite acoperitoare cu grosime cuprinsă între 0,5 m și 4 m, după ce au fost puse în evidență prin prospecțiune geologică, geochimică sau geofizică;
- în combinație cu puțurile de mină și uneori chiar cu foraje de mică adâncime.

Pentru atingerea scopului urmărit prin șanțurile de explorare, la amplasarea lor se ține seama de o serie de factori cum ar fi:

- rezultatele prospecțiunilor;
- forma și dimensiunile corpului, cunoscute pînă în acest stadiu;
- direcția și înclinarea corpului cunoscute din aflorimente sau din lucrările anterioare;
- grosimea depozitelor acoperitoare, evitîndu-se porțiunile de teren cu grosime mare (> 4 m), dolinele, văile inundabile etc., iar pentru zonele în care nu se dețin informații cu privire la grosimea depozitelor, șanțurile sînt precedate de cîteva puțuri de mină sau chiar de foraje manuale;
- de prezența în zonă a unor obiective mai mult sau mai puțin accesibile.

Atît amplasarea șanțurilor cît și executarea lor trebuie să pornească de la puncte cunoscute pe cît este posibil spre puncte mai puțin cunoscute.

Amplasarea se poate face în funcție de obiectivele urmărite, după cum urmează:

- izolat;
- după linia presupusă de afloriment;
- pe aliniamente;
- în rețea;

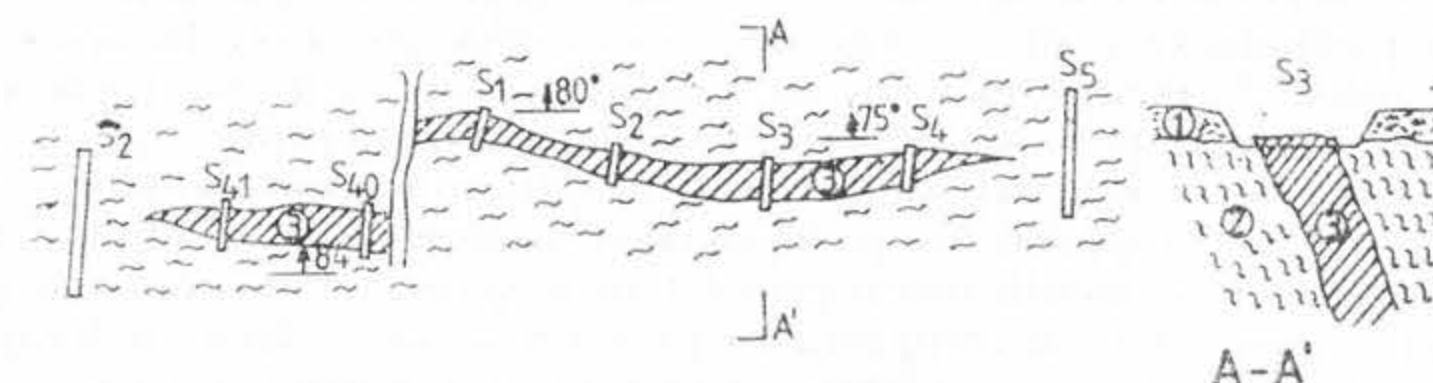


Fig. XI.3. Amplasarea șanțurilor de explorare urmînd linia presupusă de afloriment a unui corp mineralizat de formă tabulară: 1—depozite acoperitoare (sol vegetal); 2—șisturi cristaline; 3—corp tabular cu mineralizație polimetalică; S₁, S₂...S₄₂—șanțuri de explorare preliminară.

În ce privește etapa de cercetare, șanțurile se utilizează în prospecțiune, în explorarea preliminară, cu totul excepțional în explorarea de detaliu și în explorarea de extindere în suprafață.

În cazul zăcămintelor de formă tabulară cu înclinare medie sau mare, amplasarea șanțurilor urmărește, de regulă, linia presupusă de afloriment (fig. XI.3), explorarea făcîndu-se în combinație cu alte tipuri de lucrări (puțuri de mină sau foraje), pre-

cedind aceste lucrări, sau se mai pot utiliza și în mod izolat. Indiferent de modul cum sint distribuite spațial, fiecare șanț se amplasează cu axa mare cât mai perpendicular pe linia presupusă de afloriment în acel punct (respectiv direcția corpului). Numerotarea șanțuri or în etapa de explorare trebuie făcută în așa fel încât să nu se suprapună.

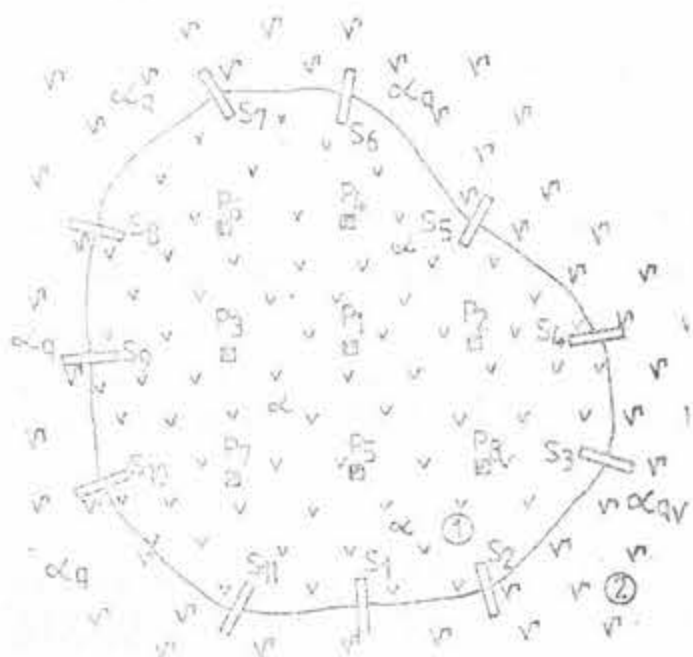


Fig. XI.4. Amplasarea șanțurilor pentru delimitarea unui corp subvulcanic:

1 — andezit subvulcanic; 2 — andezit vulcanic; $S_1 \dots S_{11}$ — șanțuri de explorare preliminară; $P_1 \dots P_8$ — puțuri de mină.

cu numerotarea făcută în prospecțiune și totodată să reprezinte și ordinea de executare.

Pentru zăcămintele de formă tabulară cu înclinare mică ($\leq 15^\circ$), orizontale sau de formă lenticulară și colonară, localizate cât mai aproape de baza de eroziune, șanțurile se amplasează pe toată suprafața corpului, în rețea sau pe aliniamente (dacă grosimea depozitelor acoperitoare este mai mică de 4 m), sau în combinație cu puțurile de mină sau/și foraje de la suprafață (când numai anumite porțiuni permit explorarea cu șanțuri). Rețeaua, în ambele situații, poate avea formă pătratică sau dreptunghiulară. În situația concretă din fig. XI.4 (zăcămint de formă colonară — *porphyry copper*) — se amplasează în zona centrală, pe baza anomaliilor geofizice, puțuri de mină, iar în zona limitei geologice presupuse (perpendicular pe aceasta) se amplasează șanțuri.

În cazul zăcămintelor metasomatice de contact (fig. XI.5) șanțurile se amplasează în explorarea preliminară pentru verificarea anomaliilor geofizice. În acest caz ele au lungime mai mare și, pentru punerea în evidență a limitei dintre rocile carbonatice și skarn, pe de o parte, și a limitei dintre skarn și rocile eruptive pe de altă parte, dar indiferent de scopul urmărit, șanțurile se amplasează pe aliniamente paralele.

Șanțurile se mai amplasează și pe aliniamente neparalele (fig. XI.6), urmărindu-se în acest caz punerea în evidență într-o primă fază a sorturilor de minereu și a limitei corpului eruptiv, urmînd ca investigarea în profunzime să se facă cu foraje.

Pentru situațiile în care șanțurile se folosesc în combinație cu puțuri de mină și cu foraje (fig. XI.7) — cazul explorării unor zăcămint de formă tabulară cu înclinare mică sau orizontale, localizate într-un relief mai puțin accidentat cu treceri la zone cu relief accidentat — șanțurile de explorare completează șanțurile de prospecțiune în ce privește trasarea cât mai exactă a liniei de afloriment, fiind urmate de puțuri de mină sau de foraje, după cum relieful permite acest lucru.

Săparea și susținerea șanțurilor de explorare. Săparea se face manual, în arii de slabă consistență cum sint solurile, aluviunile etc. și cu ciocanul de abataj sau cu explozivi, în rocile tari și foarte tari. În terenuri cu pante mici sau mijlocii, în argile, nisipuri, pietrișuri, săparea șanțurilor se face cu ajutorul excavatorului.

Evacuarea materialului derocat se face prin lopătare directă sau în cascadă, cu ajutorul unor poduri ajutătoare.

Șanțurile nu se susțin decît în anumite cazuri, cînd rocile au stabilitate redusă și cînd trebuie menținute o durată mai mare de timp. În acest caz, susținerea se face cu margini de lemn sau cu scînduri cu grosime de 25 mm, care se așază în lungul pereților șanțului și se întăresc cu propte (șpraițuri) fixate la intervale de 1—1,5 m.

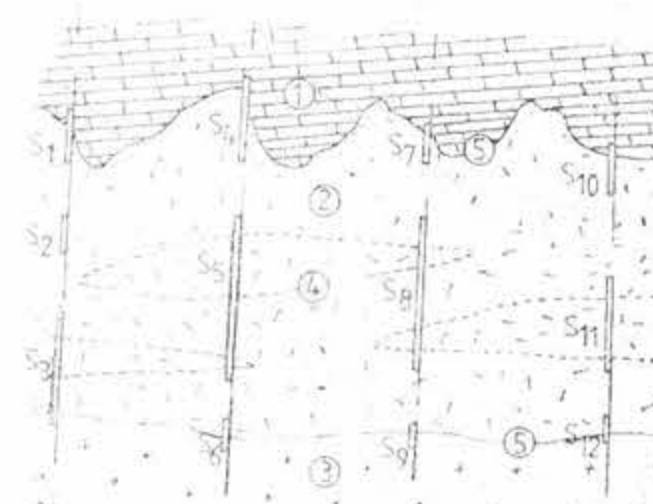


Fig. XI.5. Amplasarea șanțurilor pe aliniamente paralele, pentru verificarea anomaliilor geofizice și delimitarea zonei de skarn:

1 — calcare; 2 — skarn; 3 — roci eruptive; 4 — anomalie geofizică; 5 — limită geologică; $S_1 \dots S_{12}$ — șanțuri de explorare

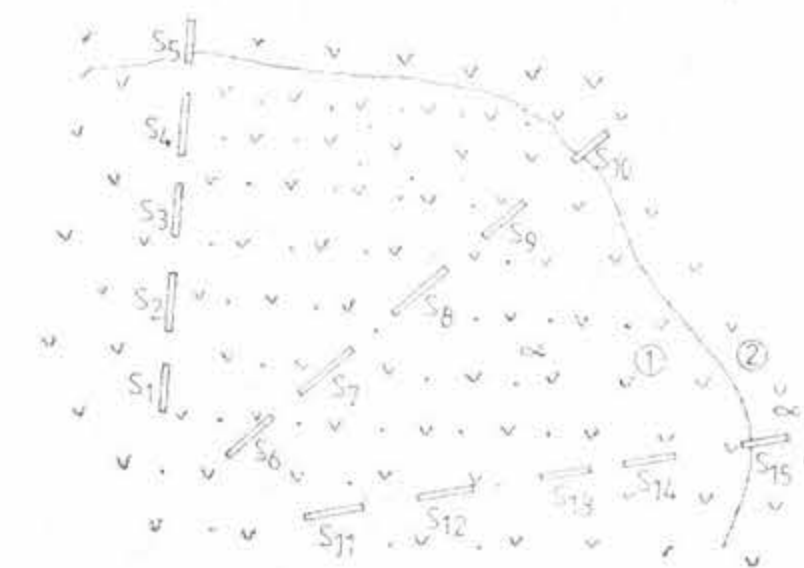


Fig. XI.6. Amplasarea șanțurilor pe aliniamente neparalele pentru explorarea zăcămintelor de formă circulară (corpuri):

1 — andezit mineralizat; 2 — andezit nemineralizat; $S_1 \dots S_{15}$ — șanțuri de explorare.

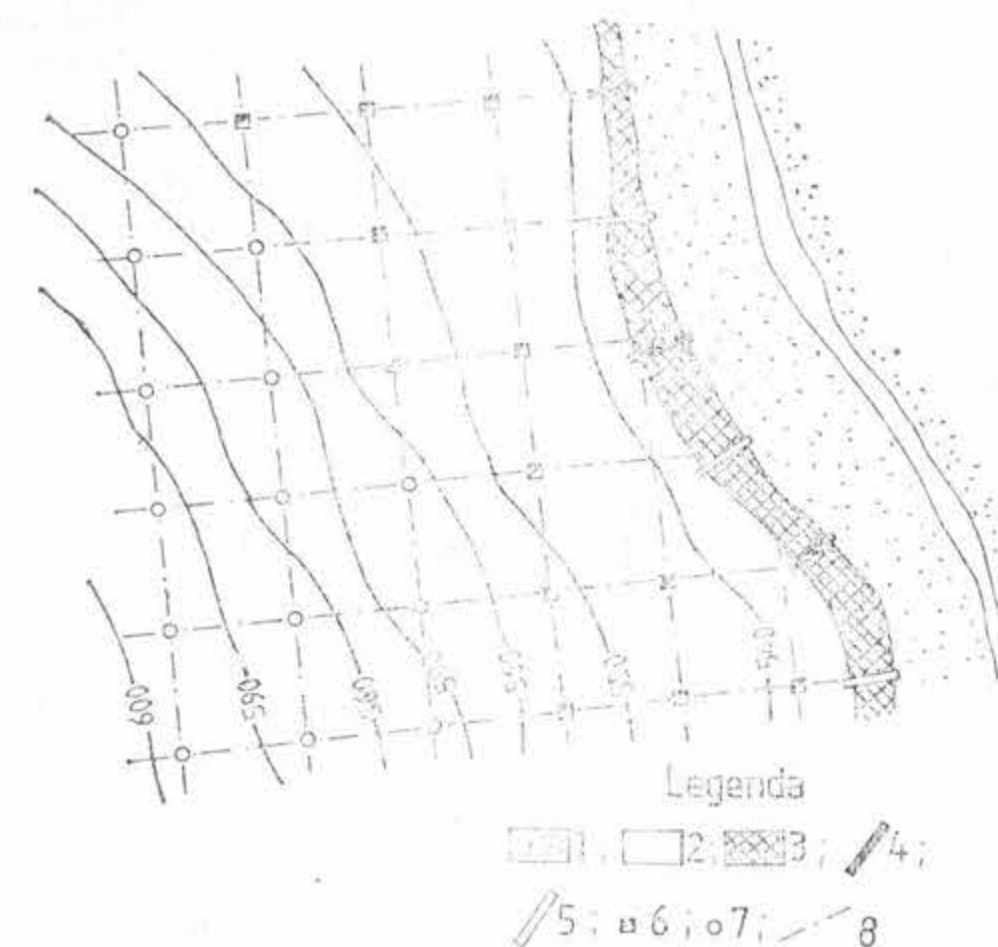


Fig. XI.7. Explorarea în rețea, cu șanțuri, puțuri de mină și foraje:

1 — depozite aluvionare; 2 — deluvii; 3 — zonă de afloriment; 4 — șanț de prospecțiune; 5 — șanț de explorare; 6 — puțuri de mină; 7 — foraje; 8 — delimitarea rețelei.

în desis sau la anumite distanțe, în funcție de stabilitatea rocilor, sau se pun în spațele unor stilpi care se fixează în vatra șanțului de-a lungul acestuia.

Documentarea geologică a șanțurilor de explorare. Documentarea geologică a șanțurilor este operația cea mai importantă din cadrul explorării cu aceste lucrări și începe imediat după săpare sau se face concomitent cu săparea. Ea trebuie executată cu foarte mare atenție, deoarece în funcție de rezultatele obținute se iau o serie de decizii în ceea ce privește continuarea cercetării.

Fazele documentării sînt următoarele:

Amplasarea pe harta geologică sau pe planul de situație se face în funcție de scara acestora și în funcție de distanțele măsurate din teren (cu ruleta sau cu pasul), de la puncte deja ridicate topografic și care fac parte din hartă pînă la șanțul care face obiectul cercetării. Trecerea pe hartă sau pe planul de situație se face în funcție de azimutul orientării șanțului (al axei mari sau al laturii mari).

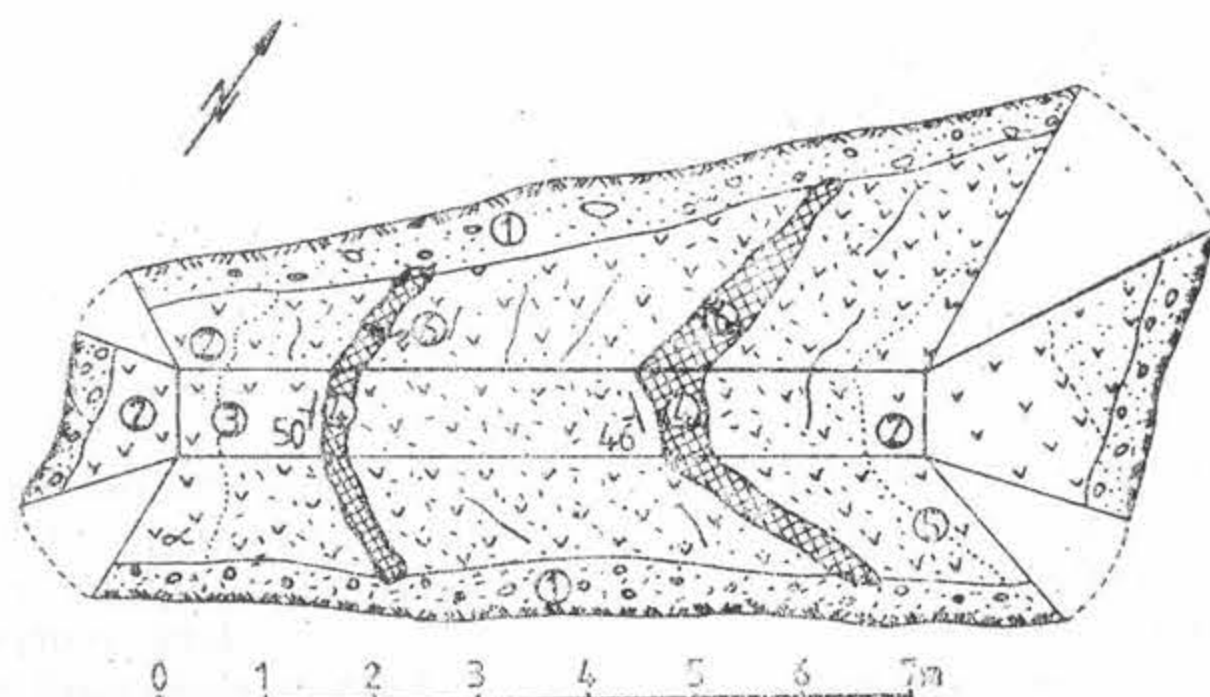


Fig. XI.8. Cartarea desfășurată a unui șanț:
1 — sol; 2 — andezit nealterat; 3 — andezit alterat hidrotermal și fisurat; 4 — filoane; 5 — limită de alterare; 6 — probă sub formă de brazdă.

Cartarea geologică se face pe carnetul de teren și în teren, cuprinzînd două faze: cartarea desfășurată și descrierea șanțului.

Cartarea desfășurată se realizează pe hîrtie milimetrică la următoarele scări: 1:20, 1:50, 1:100, 1:200 (rar) și 1:500 (foarte rar). Se cartează pereții, capetele și vatra șanțului (fig. XI.8).

Etapele cartării desfășurate sînt următoarele:

- măsurarea dimensiunilor și realizarea desfășuratei (rabatarea pereților și a capetelor șanțului în plan orizontal);
- trecerea în revistă a formațiunilor și a elementelor structurale, fixîndu-se datele care se trec pe desfășurată;
- marcarea direcției nord și a direcției de săpare;
- marcarea datelor mineralogice, petrografice, paleontologice (dacă este cazul);
- marcarea elementelor structurale — falii, fisuri (evitîndu-se fisurile rezultate de la împușcare);
- marcarea datelor hidrogeologice;
- marcarea zonelor de alterație;
- marcarea direcției și înclinării corpului de substanțe minerale utile și a faliilor;
- marcarea locului de prelevare a probelor;
- marcarea porțiunilor care urmează a fi detaliate;
- marcarea tuturor detaliilor care pot fi menționate la scara aleasă, fără a încălca desfășurata.

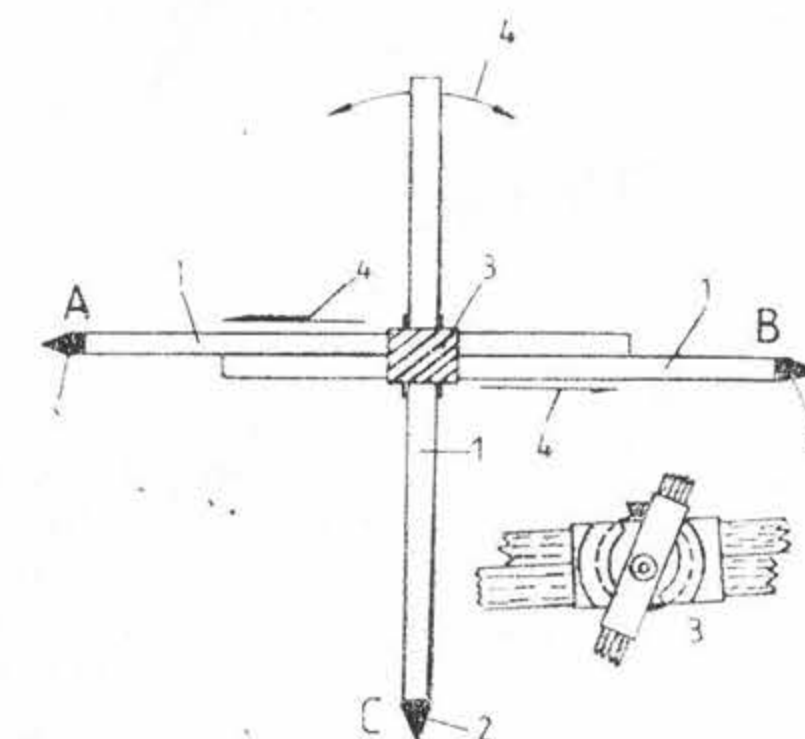
Descrierea șanțului se face imediat după cartarea desfășurată, dar nu înainte de întocmirea legendei cu semnele folosite la reprezentare. La descriere se trec următoarele date:

- numărul șanțului;
- amplasamentul șanțului;
- data începerii și terminării șanțului;
- dimensiunile șanțului;
- orientarea șanțului;
- descrierea fiecărui tip de rocă (observații macroscopice);
- descrierea substanței minerale utile;
- azimutul direcției, înclinarea corpului și a contactelor dintre roca înconjurătoare și corpul de substanțe minerale utile;
- gradul de alterare și fisurare;
- eventualele sorturi de minereu și a raporturilor dintre ele;
- detaliile structurale (fisuri, falii); eventual se poate întocmi diagrama fisurilor;
- caracteristicile hidrogeologice (debite, temperaturi, mineralizări etc.);
- descrierea punctelor fosilifere și a fosilelor;
- descrierea tipului de probe și a locului de probare;
- toate detaliile cu privire la observațiile făcute și care nu au putut fi menționate pe desfășurată la scară.

Atît cartarea desfășurată cît și descrierea șanțurilor servesc nemijlocit la întocmirea documentației finale (raportul de etapă).

Probarea substanței minerale utile se face atît pentru determinarea caracteristicilor mineralogice, petrografice, cît și pentru determinarea caracteristicilor chimice. Probele mineralogice și petrografice se recoltează prin metoda eșantionării.

Fig. XI.9. Dispozitiv cruce:
1 — rigle din lemn sau material plastic (A, B, C); 2 — capete metalice; 3 — placă din material nemagnetic; 4 — senzori de mișcare.



Probele chimice se prelevează sub formă de brazde amplasate pe unul din pereții șanțului și numai în cazuri excepționale (cînd mineralizația nu apare pe pereți) se recoltează și din vatră, deoarece pericolul de contaminare este foarte mare (v. și Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile).

Determinarea azimutului direcției și înclinării corpului zăcămintului, a contactelor sau a faliilor se face cu *busola geologică* aplicată direct (la fel ca în cazul deschiderilor naturale) sau aplicată pe *dispozitivul cruce* (fig. XI.9). În cazul în care se folo-

sește acest dispozitiv, se urmărește foarte atent materializarea planului a cărui azimut al direcției și înclinării trebuie măsurat, iar în continuare se fixează rigleta *A* pe unul din pereți (pe urma planului de măsurat) și rigleta *B* pe celălalt perete (pe urma aceleiași plan), iar rigleta *C* pe urma planului din vatra șanțului.

După materializarea planului de măsurat (cu ajutorul dispozitivului cruce) se așază busole pe placa dispozitivului la fel ca și pe fața de strat, filon, contact, falie etc.

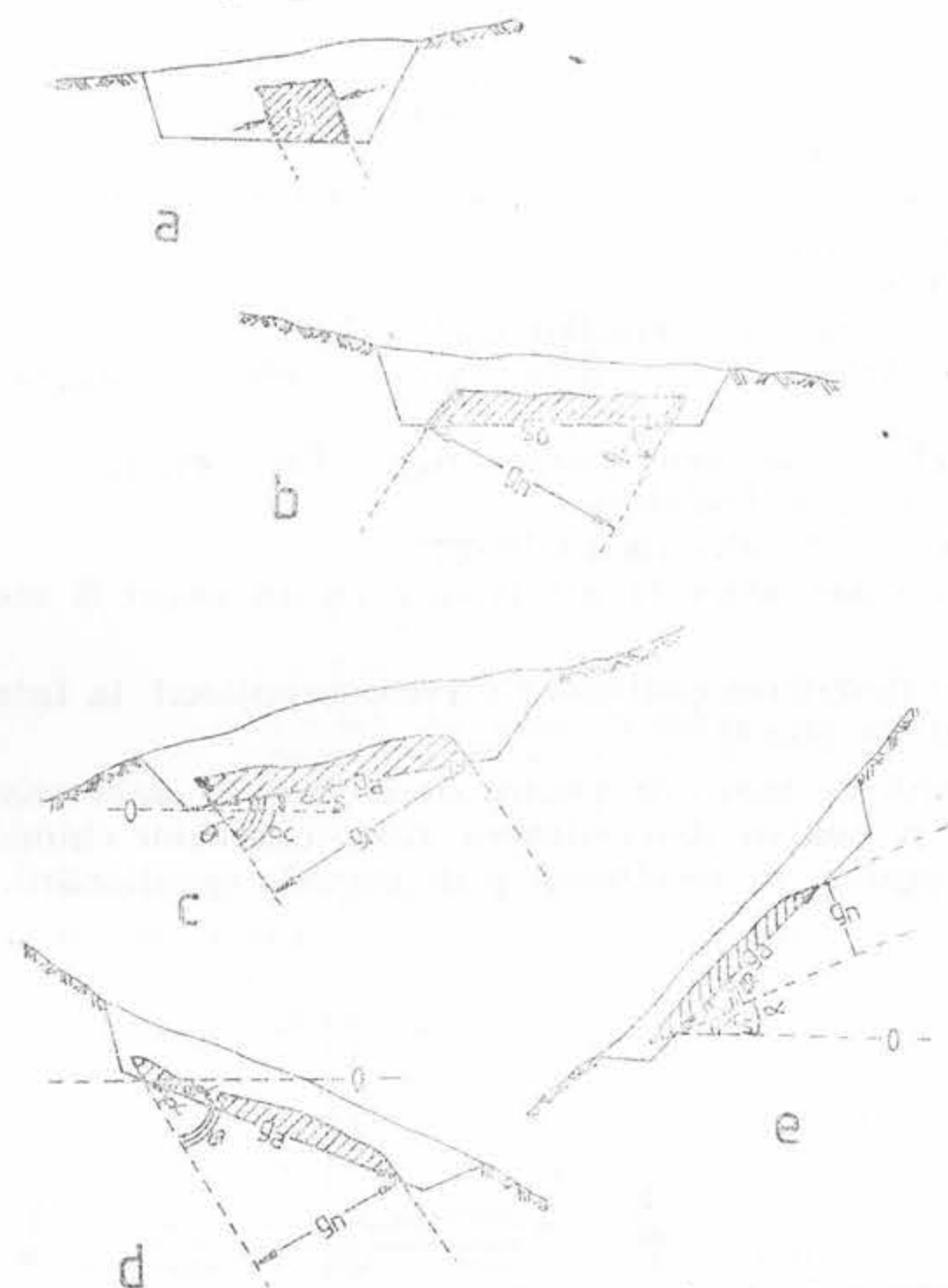


Fig. XI.10. Determinarea grosimii normale a corpurilor de substanțe minerale utile interceptate prin șanțuri de explorare.

Determinarea grosimii normale (g_n) a corpului de substanță minerală utilă se poate face prin măsurarea directă pe unul din pereții șanțului (fig. XI.10, a), în cazul în care grosimea normală a corpului (g_n) se încadrează pe pereți, sau se poate determina în funcție de grosimea orizontală (g_0) sau de grosimea aparentă (g_a) și în funcție de unghiul înclinării corpului (α) și a unghiului înclinării vetrei șanțului (α_s). Cîteva situații care se întîlnesc destul de frecvent în activitatea geologică de explorare:

a) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosime mare, interceptat de un șanț cu vatra orizontală (fig. XI.10, b):

$$g_n = g_0 \sin \alpha;$$

b) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosime mare, interceptat de un șanț cu vatra înclinată în sensul pantei terenului și invers decît înclinarea corpului (fig. XI.10, c):

$$g_n = g_a \sin \theta; \quad \theta = \alpha + \alpha_s$$

c) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosime mare, interceptat de un șanț cu vatra înclinată în sensul pantei terenului și în sensul înclinării corpului (fig. XI.10, d și e):

— cînd $\alpha_s < \alpha_n$; $g_n = \sin \theta$; $\theta = \alpha - \alpha_s$; (fig. XI.10, d);

— cînd $\alpha_s > \alpha_n$; $g_n = g_a \sin \theta$; $\theta = \alpha_s - \alpha$; (fig. XI.10, e);

Abandonarea șanțurilor. Abandonarea șanțurilor se realizează după documentarea completă și constă în recuperarea materialului de susținere (dacă este cazul), după care urmează umplerea lui cu material excavat, pentru prevenirea accidentelor.

2.2.1.2. Tranșee de explorare

Dacă grosimea stratelor acoperitoare depășește 4 m, șanțurile se sapă cu profile mai mari, ca să se poată executa săparea și susținerea pereților, numindu-se în acest caz *tranșee*. Din ele, ca și din puțurile de mină se pot săpa galerii, în scopul cunoașterii mai precise a rocilor acoperitoare (fig. XI.11).

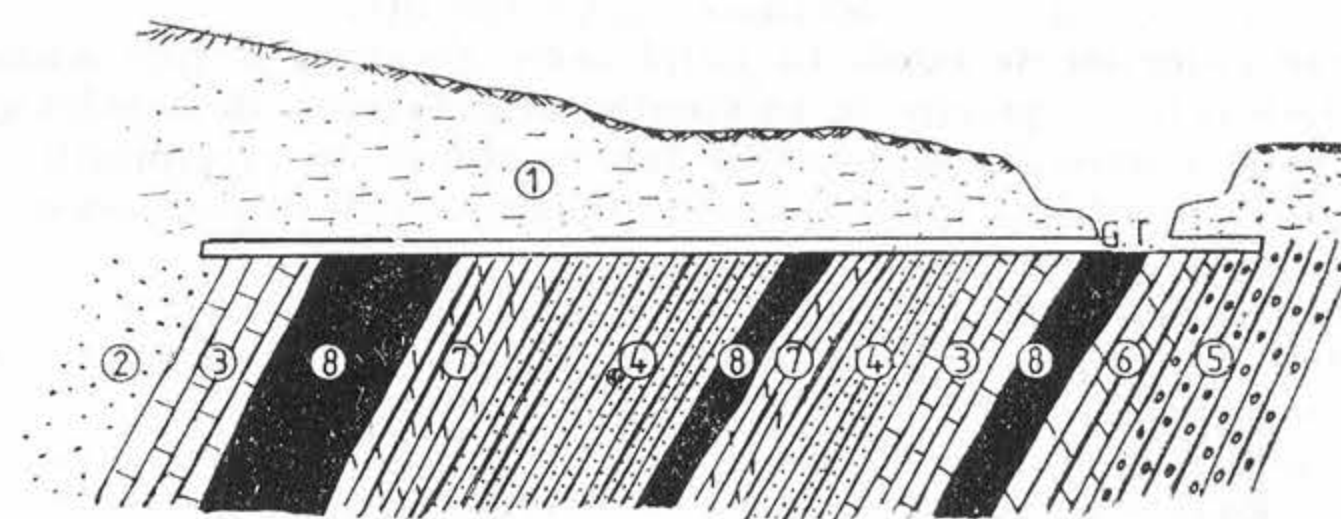


Fig. XI.11. Tranșee de explorare din care se pot executa galerii transversale:

1 — nisip argilos; 2 — nisip; 3 — calcar; 4 — gresie; 5 — conglomerat; 6 — marnă; 7 — argilă marnoasă; 8 — cărbune; GT — galerie transversală.

După documentarea geologică și raportarea lor la planuri, tranșeele se închid prin rambleiere, recuperîndu-se în prealabil susținerea în cazul cînd acestea au fost susținute.

2.2.2. PUȚURI DE MÎNĂ (ȘURFURI)

Puțul de mină este o lucrare minieră de explorare ușoară, verticală, executată de la zi, de adîncime și secțiune mică și de scurtă durată.

Obiective urmărite. Prin puțurile de mină se urmărește, ca și prin șanțuri, determinarea elementelor de așezare a zăcămintului, a caracteristicilor sale calitative și cantitative etc.

Pe lângă aceste obiective se mai urmărește:

- completarea datelor primite din șanțuri;
- traversarea rocilor acoperitoare de grosime mai mare de 4 m (când nu mai sînt eficiente șanțurile);
- executarea secțiunilor geologice (prin completarea datelor obținute din cartare și din șanțuri);

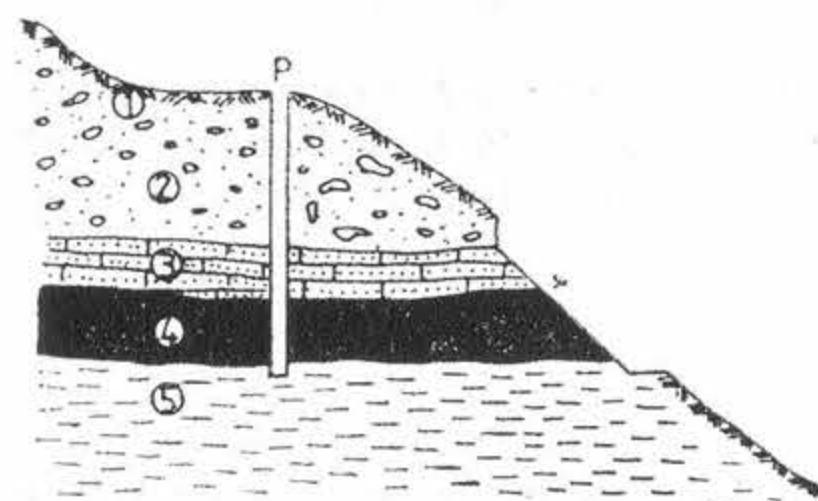


Fig. XI.12. Explorarea cu puț de mină (șurf) izolat, pentru completarea informațiilor din șanțuri:

1 — sol vegetal; 2 — depozite de terasă; 3 — gresii calcaroase; 4 — strat de carbune; 5 — argilă; ș — șanț de explorare; p — puț de mină.

- probarea informativă a mineralizației (pe lângă probe mineralogice, petrografice și chimice se mai recoltează și probe tehnologice);
- identificarea pînzilor de apă;
- cercetarea anomaliilor geochimice, geofizice etc.

Amplasarea puțurilor de mină. La amplasarea acestora se ține seama de indicațiile directe și indirecte cu privire la existența zăcămintului, de morfologia terenului, evitîndu-se rocile și porțiunile inundabile, iar în zonele cu precipitații abundente se iau toate măsurile împotriva inundațiilor (amplasamentul se protejează prin șanțuri scurte pe înclinare în amonte de amplasament).

Locul de amplasare se nivelează, după care se marchează cu țărui colțurile în cazul puțurilor de profil dreptunghiular și pătratic sau centrul cercului în cazul puțului de profil circular.

În cazul puțurilor de profil dreptunghiular se urmărește ca latura mare a puțului să fie perpendiculară pe direcția presupusă a corpului de substanțe minerale utile.

Puțurile de mină se pot amplasa izolat, în cazul cînd înlocuiesc unele șanțuri (fig. XI.12), în funcție de cerințele locale, sau se pot amplasa pe aliniamente și în rețea în momentul în care completează o rețea de șanțuri (v. fig. XI.4 și respectiv XI.7).

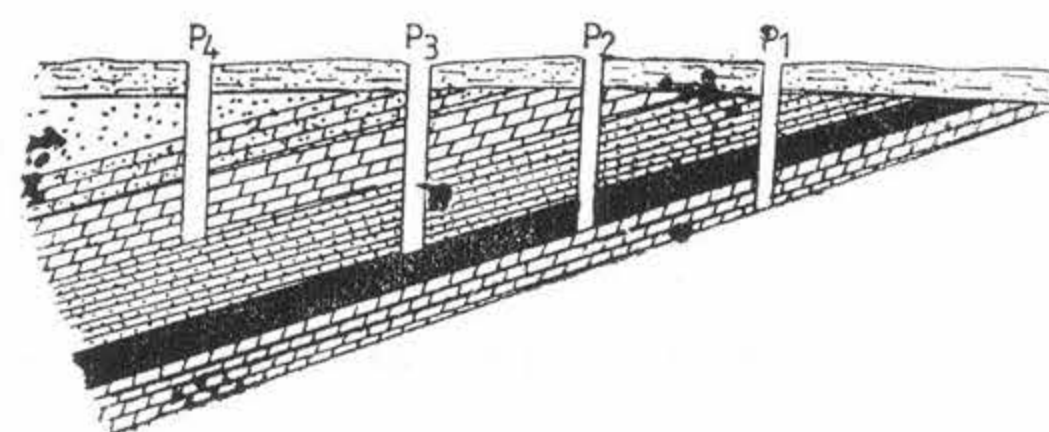


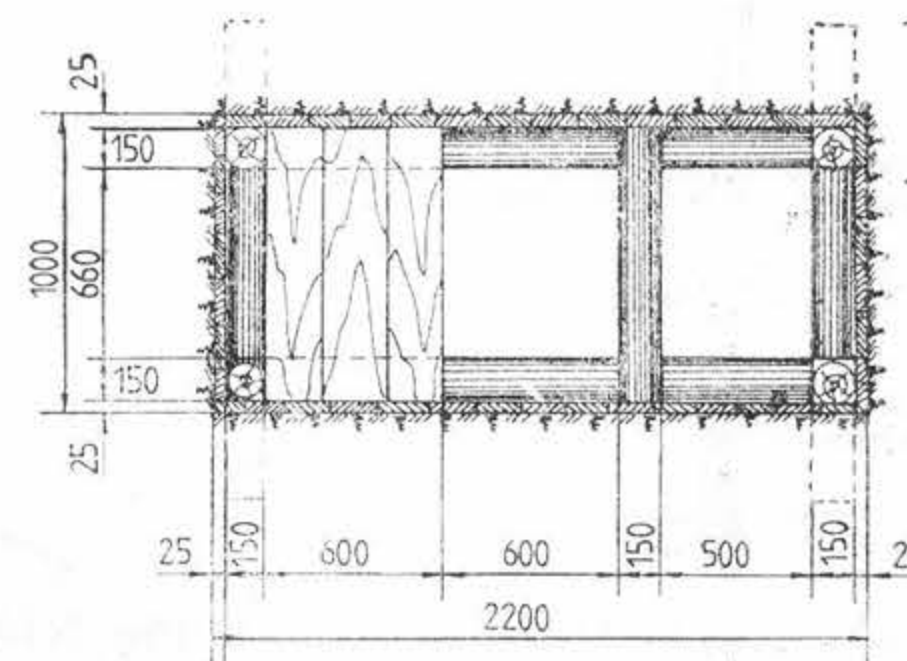
Fig. XI.13. Plasarea și adîncimea relativă a puțurilor de mină.

Cînd se dispun pe aliniamente perpendicular pe direcția presupusă a corpului, puțurile de mină se amplasează în așa fel încît distanța între aliniamente să fie un multiplu al distanței dintre puțurile de pe un aliniament, iar lucrările de pe direcția unui aliniament să nu formeze aliniamente cu celelalte aliniamente. De obicei, la alegerea distanței se are în vedere ca fiecare puț să traverseze stratul în care s-a oprit puțul precedent (fig. XI.13). Prin calcul această distanță se determină cu relația $L = A/\text{tg } \alpha$.

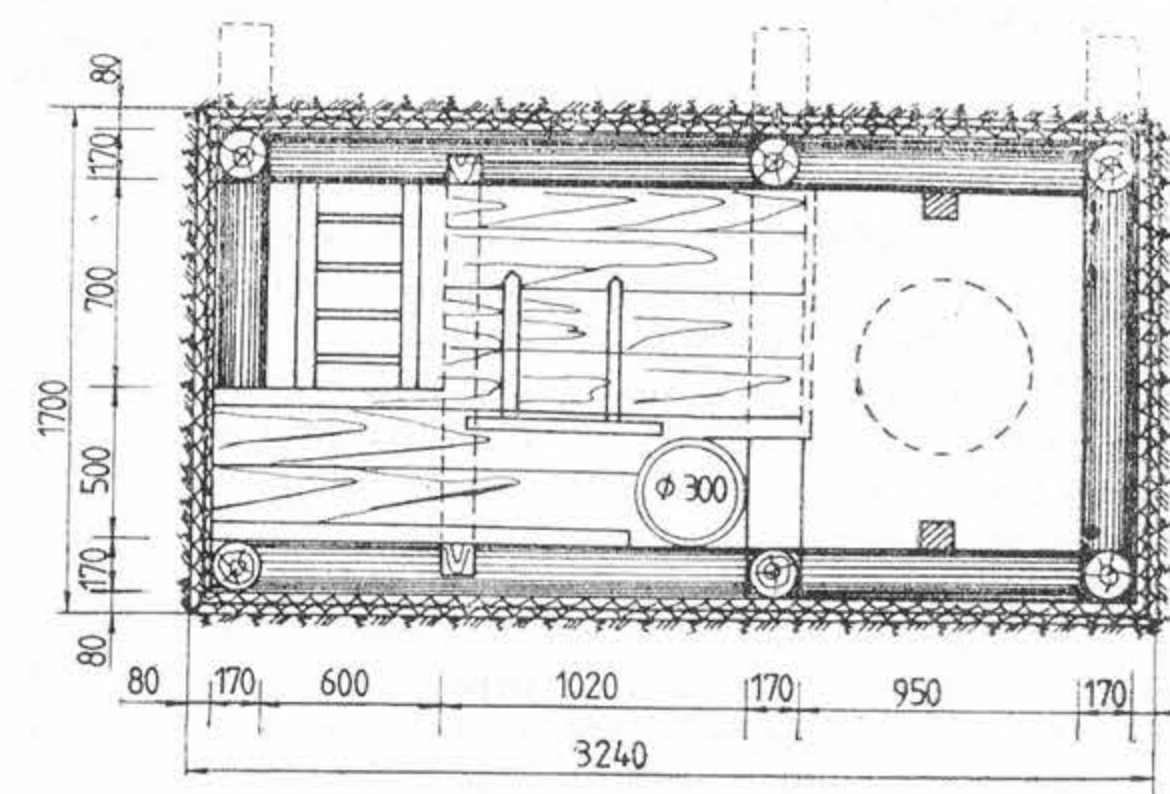
în care A este adîncimea la care apare stratul reper în puț, iar α — unghiul de înclinare al stratului reper.

Folosirea puțurilor de mină este indicată în toate etapele de explorare geologică, cînd situațiile concrete permit acest lucru (corpuri de dimensiuni mari, înclinare medie și mică, localizare cît mai aproape de suprafața terenului).

Forma și dimensiunile puțurilor de mină. Puțurile de mină au profil dreptunghiular și se sapă de regulă pînă la adîncimea de 15–20 m, rareori ajungînd pînă la maximum 30 m. Secțiunea de săpare a puțurilor de mină se adoptă în funcție de adînci-



a



b

Fig. XI.14. Puțuri de mină:

a — PIL cu secțiunea de 2,20 m²; b — P3L cu secțiunea de 5,50 m².

mea acestora: 2,20 m² (fig. XI.14, a) pentru adîncimi pînă la 5 m, 3,60 m² (1450 × 2450 mm) pentru adîncimi de 5–15 m și 5,50 m² (fig. XI.14, b) pentru adîncimi de 15–30 m. În toate cazurile puțurile de mină se susțin în lemn și se compartimentează, unul din cele două compartimente fiind amenajat cu poduri și scări pentru circulație.

Săparea puțurilor de mină se face la început cu unelte obișnuite (tirnăcop, cazma, lopată), pentru îndepărtarea solului și traversarea rocilor moi, după care pentru traversarea rocilor tari și foarte tari se folosesc găuri de mină și explozivi.

Evacuarea materialului pentru adâncimi mici, până la 2–2,5 m, se face direct, prin lopătare. De la adâncimi mai mari de 2,5 m, evacuarea materialului excavat din

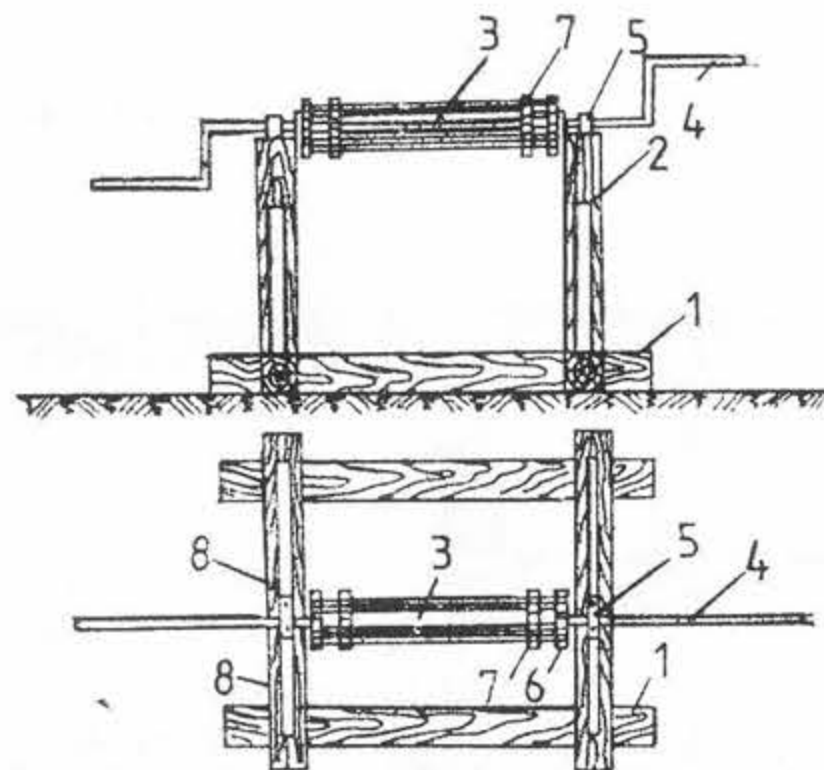


Fig. XI.15. Crivac :

1 — cadru de lemn; 2 — stîlp; 3 — tobă pentru înfășurarea cablului; 4 — manivelă; 5 — lagăr; 6 — dispozitiv de frînare; 7 — cerc metalic; 8 — stîlpi înclinați.

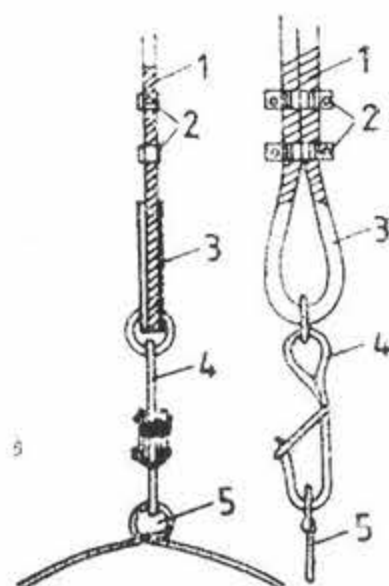


Fig. XI.16. Modul de legare a chiblei la cablu de extracție :

1 — cablu; 2 — eclise de strîngere; 3 — inimă de oțel; 4 — cîrlig; 5 — toarta chiblei.

puț se face cu găleata sau se aruncă treptat pe poduri intermediare. Dacă puțul depășește adîncimea de 5 m, materialul se scoate cu ajutorul unui *trolu de mină* sau *crivac* (fig. XI.15) și a unei găleți sau *chibla*. Chibla este confecționată din lemn sau din tablă obișnuită întărită cu cercuri de oțel lat și este prevăzută cu un minier (toartă) din oțel rotund. Are o formă cilindrică sau tronconică cu diametrul inferior de 0,25–0,35 m, diametrul superior de 0,35–0,40 m și înălțimea de 0,40–0,50 m.

Pentru ridicarea chiblei se folosesc cabluri de cînepă ($\varnothing = 20\text{--}25\text{ mm}$) sau de oțel ($\varnothing = 6\text{ mm}$). Legarea cablului la toarta chiblei se face ca în fig. XI.16.

Susținerea puțurilor de mină se face, de la caz la caz, cu cadre din lemn rotund sau ecarisat și căptușeală de scînduri sau lăturoaie, așezate în spatele cadrelor de susținere. Cadrele se așază în cîmpuri, la intervale de 1–1,5 m, sau în desiş. Susținerea se face de jos în sus, pe tronsoane de 2 m. La baza fiecărui tronson se așază un cadru de sprijin numit *tropan*, care are fixate în pereții puțului capetele a două grinzi opuse. Cadrul de sprijin susține cadrele de susținere de deasupra, pînă la cadrul de sprijin următor.

Cînd susținerea se face în cîmpuri, între cadre se așază stîlpi (popi) în cele patru colțuri.

Îmbinarea grinzilor cadrelor se face în prag sau coadă de rîndunică. Circulația se face pe scări fixate pe poduri cînd puțul de mină are adîncimi mai mari, sau mobile pentru adîncimi mici.

Podurile se așază pe cadrele de sprijin (tropane) și au deschideri (ferestre) de trecere de 600–700 mm.

Aerajul se face prin difuzie sau prin agitare aerului cu chibla în mișcare. Pentru adîncimi mai mari se folosesc suflaiuri sau paravane de vînt construite din tablă, scînduri sau foi de cort.

Evacuarea apei se face cu ajutorul chiblei, dacă debitul de apă este mai mic de 6 l/min, iar la debite de pînă la 5 m³/h, evacuarea se face cu pompe de mină.

Săparea și susținerea se face de către echipe de mineri, pe baza unui grafic de execuție a lucrării. Norma de lucru se fixează în m³/post pentru evacuare și separat pentru susținere.

Documentarea geologică a puțurilor de mină. La fel ca și în cazul explorării cu șanțuri, documentarea puțurilor de mină este o operație foarte importantă, care începe odată cu săparea puțurilor sau se poate executa și după săpare, dar înainte de susținere. Urmărirea săpării puțului de mină de către un geolog dă posibilitatea luării unor decizii privind continuarea sau sistarea executării lui la momentul oportun.

Documentarea puțurilor de mină cuprinde următoarele etape:

Ridicarea topografică reprezintă o operație importantă din cadrul documentării și cuprinde:

- stabilirea coordonatelor locației;
- măsurarea adîncimii (determinarea cotei verticale);
- stabilirea verticalității puțului;
- măsurarea adîncimii corpului de substanță minerală utilă față de suprafață;
- stabilirea adîncimii schimbărilor de litologie etc.

Operația de ridicare topografică se poate face de către geolog sau de către topograf, urmînd ca datele obținute să fie trecute atît pe planurile de situație (scara 1:1 000; 1:2 000 sau 1:10 000) cît și pe restul de documente geologice (secțiuni, hărți cu izobate etc.).

Cartarea geologică se face pe carnetul de teren pe măsură ce se execută puțul de mină și cuprinde, la fel ca în cazul șanțurilor, două etape principale: *cartarea desfășurată* și *descrierea geologică* a puțului de mină.

Cartarea desfășurată se realizează pe hîrtie milimetrică la următoarele scări: 1:50, 1:100; 1:200 și 1:500 (rar). În mod obligatoriu se cartează pereții și vatra puțului de mină (fig. XI.17).

Pe planul desfășurat se trec:

- orientarea unuia dintre pereți sau orientarea unui diametru (în cazul puțurilor de profil circular);
- scara grafică verticală;
- dimensiunile puțului;
- elementele de așezare a corpului de substanță minerală utilă;
- elementele structurale;
- elementele geologice (mineralogice, petrografice, paleontologice etc.);
- elementele hidrogeologice;
- porțiunile de detaliere;
- locurile de prelevare a probelor etc.

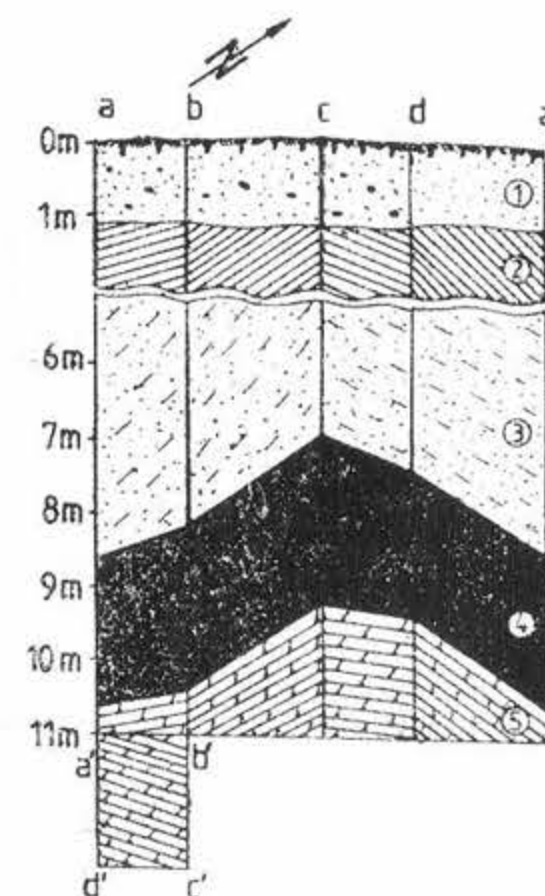


Fig. XI.17. Cartarea desfășurată a unui puț de mină cu profil dreptunghiular :

1 — sol; 2 — argile; 3 — nisip argilos; 4 — cărbune; 5 — marnă.

Descrierea geologică a puțurilor de mină se face în continuarea porțiunii cartate desfășurată și cuprinde:

- numărul și denumirea puțului;
- orientarea puțului;
- amplasarea puțului (distanța până la reperele topografice, coordonatele locației etc.);
- data începerii și terminarea puțului;
- dimensiunile puțului;
- observații de ordin geologic, la fel ca și la șanțuri, care nu se pot menționa pe desfășurată ca urmare a scării alese;
- observațiile de ordin hidrogeologic;
- descrierea porțiunilor detaliate;
- descrierea tipurilor de probe și a locurilor de prelevare etc.

Se recomandă, atât în cazul cartării desfășurate, cât și al descrierii puțurilor, ca înainte de abandonare să se mai facă încă o verificare pentru a nu scăpa o serie de detalii.

Probarea substanței minerale utile în puțurile de mină se face respectind toate condițiile probării. Se prelevează probe mineralogice, petrografice, chimice și tehnologice (pentru faza de laborator și pilot).

Probele mineralogice și petrografice se prelevează prin metoda eșantionării, pe tipuri petrografice sau pe sorturi.

Probele chimice se recoltează prin metoda brazdelor amplasate pe unul din pereți, după grosimea normală (zăcămintele cu înclinare mică și orizontale), când aceasta se încadrează pe pereții puțului sau după grosimea aparentă verticală. În cazul unei variații foarte mari a conținutului în componente utile se probează doi pereți opuși, în final făcându-se media conținuturilor.

Probele tehnologice se recoltează prin răzuirea pereților puțului sau prin re-profilarea puțului.

Metodica probării substanței minerale utile în puțuri este tratată în secțiunea XII.

Determinarea elementelor spațiale a corpului de substanță utilă presupune determinarea: direcției, înclinării și a grosimii reale (normale).

Direcția și înclinarea se pot măsura *direct* cu busola pe fața de strat (la fel ca în cazul deschiderilor naturale), pe măsură ce se sapă puțul, sau cu busola aplicată pe dispozitivul cruce (procedeul fiind asemănător ca în cazul șanțurilor), s-au se poate determina *indirect* prin metoda desfășuratei și metoda proiecției cotate.

Determinarea direcției și înclinării pe baza elementelor obținute din cartarea desfășurată (metoda desfășuratei) presupune metarializarea pe desfășurată a unei intersecții a unui plan din cadrul zăcămintului (planul culcușului, acoperișului sau a planului median) cu pereții puțului (fig. XI.18). Dreapta $\overline{AA'}$ reprezintă intersecția dintre un plan orizontal și planul pereților puțului (rabatați în plan vertical); punctele A, B, C, D, A' reprezintă intersecția planului zăcămintului cu muchiile a, b, c, d, a' punctul N este locul de intersecție a urmei planului ($ABCD A'$) cu dreapta $\overline{AA'}$; O reprezintă intersecția dreptei $\overline{AA'}$ cu muchia b .

Prin rabaterarea segmentului ON pe muchia b ($ON = ON'$) și unirea punctului N' cu A obținem segmentul $\overline{AN'}$, care reprezintă direcția stratului rabatată în plan vertical (intersecția planului orizontal cu planul stratului). Pentru aflarea azimutului direcției corpului de substanță minerală utilă se adună azimutul peretelui $aba'b'$ (δ) cu unghiul δ_1 (unghiul dintre direcția stratului și peretele ab).

Înclinarea (α) se determină ducind din punctul O perpendiculara \overline{OM} ($\overline{OM} \perp \overline{AN'}$), care reprezintă proiecția liniei de cea mai mare pantă în plan orizontal (în rabatere), după care printr-o mișcare de rabatere ducem segmentul \overline{OM} pe dreapta $\overline{AA'}$ ($\overline{OM} = \overline{OM'}$); unind punctul M' cu B se obține dreapta $\overline{M'B}$ reprezentând linia de cea mai mare pantă rabatată în planul $aba'b'$, iar unghiul α este unghiul real al înclinării stratului.

În cazul în care se cunosc coordonatele unui punct al stratului (punctul în care o muchie intersectează planul stratului) prin care trec două trepte conținute în planul stratului (respectiv urma stratului pe doi pereți adiacenți unei muchii) — fig. XI.19 — se poate determina direcția și înclinarea folosind metoda proiecției cotate (metoda grafică).

În această figură, un puț vertical, de profil dreptunghiular, intersectează acoperișul stratului în punctul A (x_1, y_1, z_1), iar în pereți $a-b$ și $a-d$ avem urma acoperișului stratului, respectiv dreptele Δ_1 (δ_1, α_1) și Δ_2 (δ_2, α_2). Direcțiile (δ_1 și δ_2) și înclinările (α_1 și α_2) se pot obține prin măsurare directă cu busola geologică, iar coordonatele punctului A se pot determina în funcție de coordonatele locației puțului.

Pentru determinarea azimutului direcției stratului (β) și unghiului de înclinare α într-un sistem de axe de coordonate xOy se reprezintă punctul A și dreptele Δ_1 și Δ_2 (fig. XI.20), prin azimutele direcțiilor lor (direcțiile δ_1 și δ_2). Cu ajutorul unghiurilor

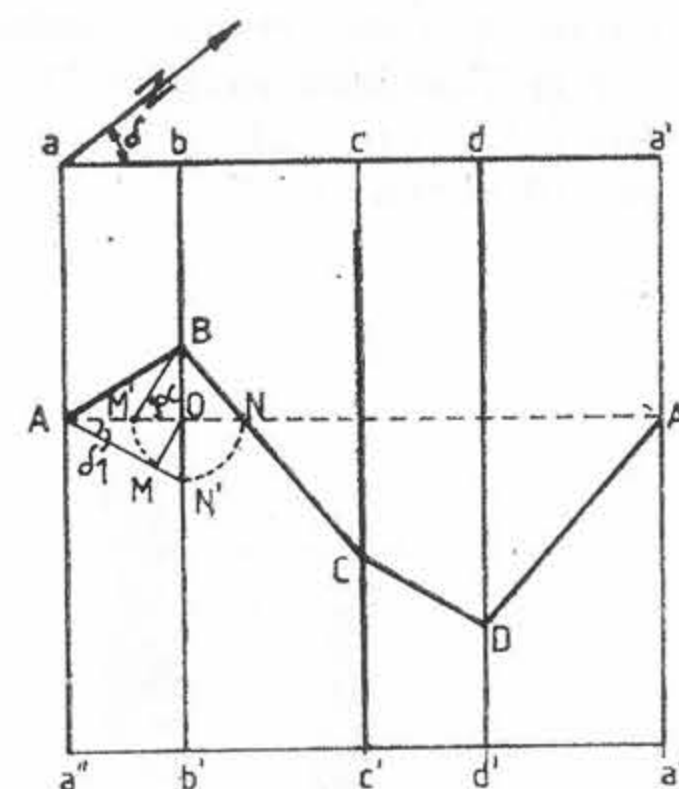


Fig. XI.18. Determinarea direcției și înclinării unui corp de substanță minerală utilă intersectat de un puț, prin metoda desfășuratei.

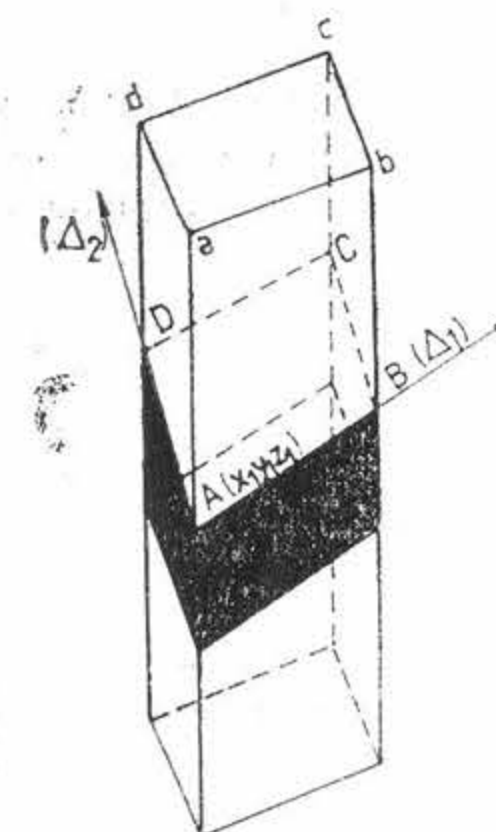


Fig. XI.19. Puț de explorare care intersectează un strat de cărbune.

de înclinare α_1 și α_2 ale celor două drepte se gradează proiecțiile Δ_1 și Δ_2 , începind din punctul A (fig. XI.21). Se determină punctele de aceeași cotă ($z_2 < z_1$), pe cele două drepte (\overline{AM} și \overline{AN}), care prin unire ne dau dreapta \overline{MN} , dreaptă orizontală a planului stratului (direcția), iar azimutul acestei drepte este chiar azimutul direcției stratului (β).

Pentru determinarea unghiului de înclinare, din punctul A se duce o perpendiculară pe direcția (\overline{MN}) până în punctul E (fig. XI.20); dreapta \overline{AE} reprezintă pro-

iecția liniei de cea mai mare pantă într-un plan orizontal. Tot din punctul A se duce segmentul $\overline{AF} = z_1 - z_2$ perpendicular pe segmentul \overline{AE} , și unind punctul F cu E se obține linia de cea mai mare pantă a stratului în mărime reală (FE), rabatată în ju-

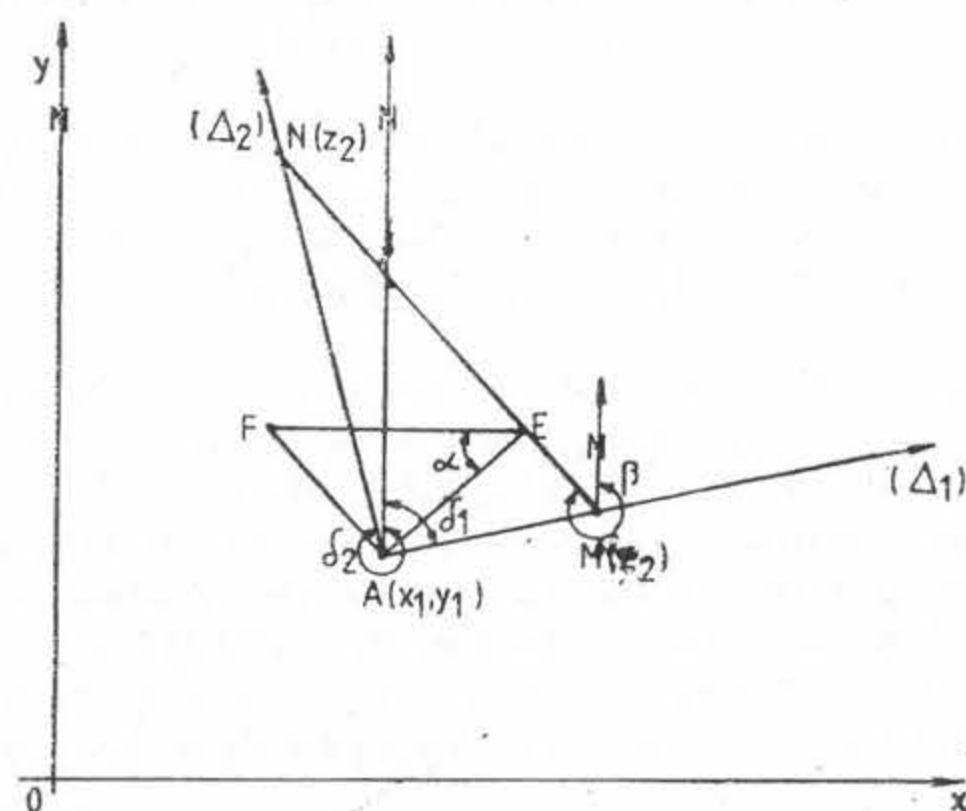


Fig. XI.20. Determinarea direcției și înclinării unui zăcămint sub formă de strat, cunoscând direcțiile și înclinările a două drepte din planul zăcămintului.

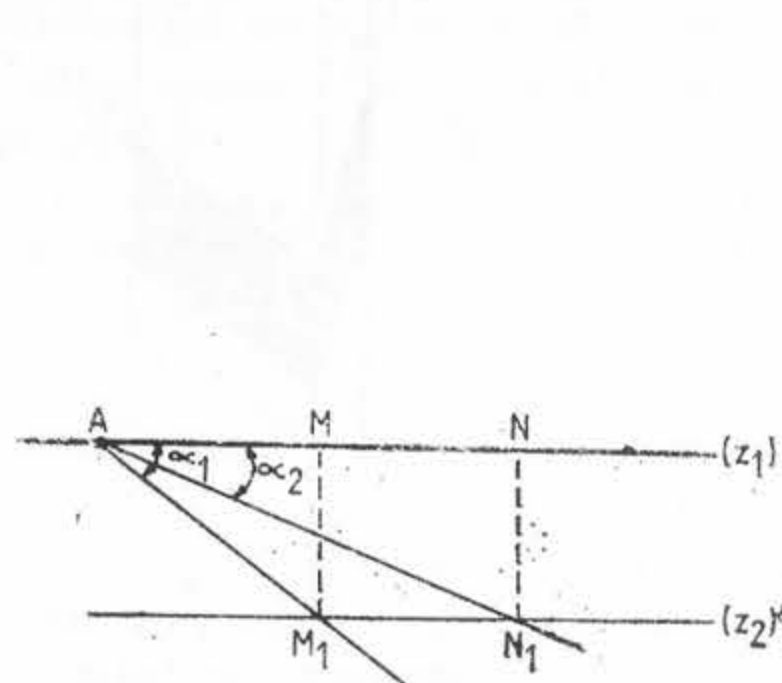


Fig. XI.21. Cotarea (gradarea) a două drepte în spațiu.

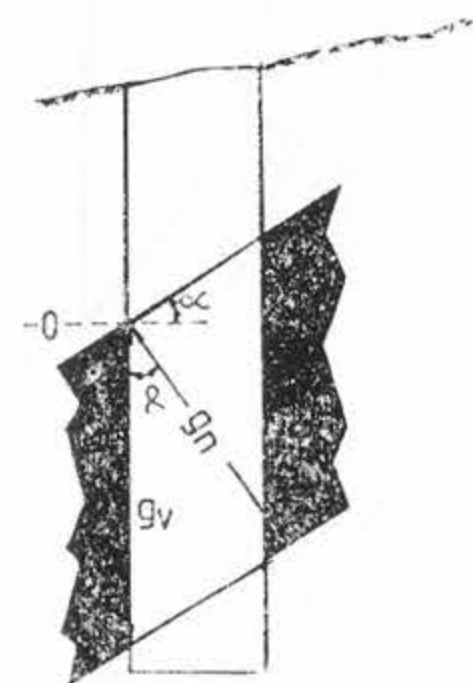


Fig. XI.22. Determinarea grosimii normale (g_n) în cazul unui puț.

rul segmentului AE : unghiul α reprezintă unghiul de cea mai mare pantă în mărime reală.

Grosimea normală a unui corp de substanță minerală utilă se poate obține prin măsurare directă, în cazul în care aceasta se încadrează pe unul din pereții puțului, sau se poate determina în funcție de grosimea verticală (g_v) și de unghiul de înclinare a stratului după formula: $g_n = g_v \cos \alpha$ (fig. XI.22).

Abandonarea puțurilor de mină. Abandonarea puțurilor de mină, la fel ca și în cazul șanțurilor, este o operație careia trebuie să i se acorde multă importanță și presupune următoarele faze:

- recuperarea materialului de susținere (parțial sau total);
- rambleierea cu materialul excavat, urmărindu-se evitarea formării golurilor subterane;
- împrejmuirea locului;
- verificarea modului de tasare, iar dacă este cazul trebuie intervenit pentru completarea cu material excavat.

2.2.3. PUȚURI DE EXPLORARE

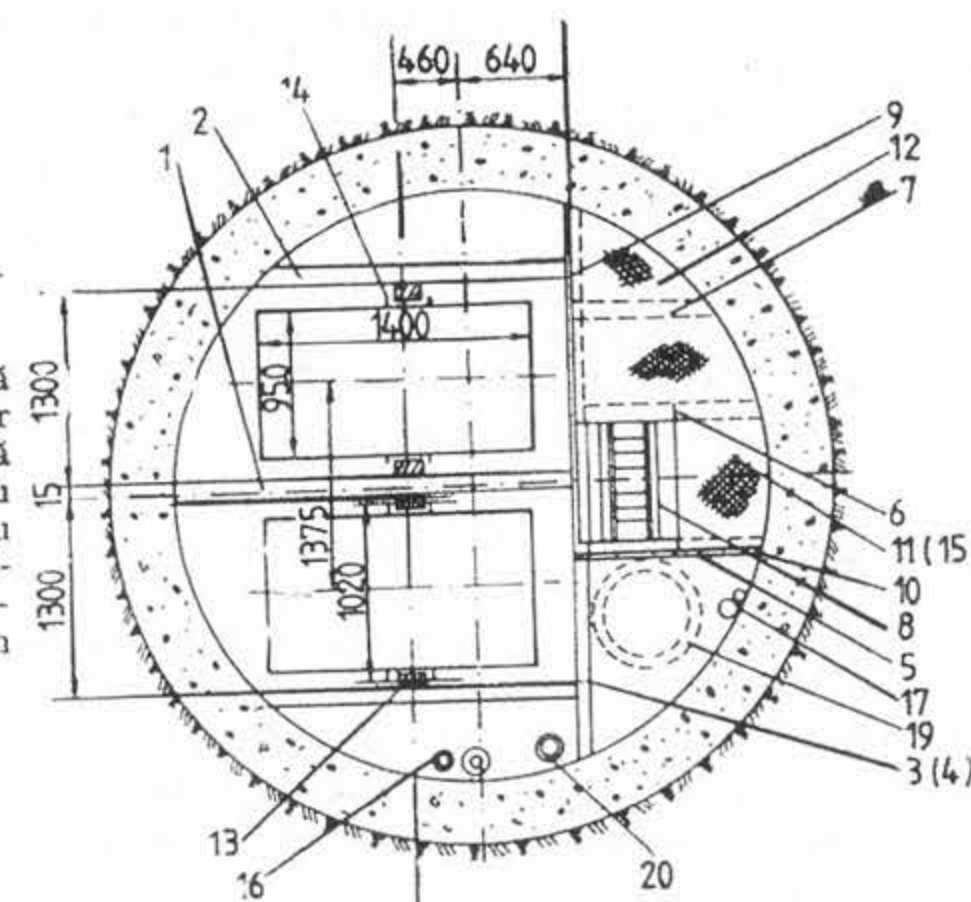
Puțurile de explorare sînt lucrări miniere verticale cu adîncimi și secțiuni mai mari decît ale puțurilor de mină. De regulă, ele fac legătura dintre orizontul de explorare de bază și lucrările miniere pentru explorarea extinderii zăcămintului în adîncime și necesită o organizare mai detaliată a lucrărilor de execuție.

Obiective urmărite. Cu puțurile de explorare se construiește baza rețelei de lucrări miniere subterane pentru explorarea extinderii (amănunțită) a zăcămintului în adîncime, stabilirea succesiunii stratigrafice și cunoașterea proprietăților fizico-mecanice ale rocilor înconjurătoare.

Forma și dimensiunile puțurilor de explorare. După adîncimea la care se execută și după secțiunea puțului se disting:

Fig. XI.23. Puț de explorare circular P4Bc—
Ø 4,0 m, susținut în beton:

1 — moază centrală; 2 — moază laterală; 3 — moază transversală la pod; 4 — moază transversală; 5 — 6 — cornier pentru pod și scară; 7 — cornier pentru pod; 8 — scară metalică; 9 — panou despărțitor lateral; 10 — panou despărțitor frontal; 11, 12 și 13 — tablă striată pentru pod; 14 — ghidaje; 15 — cornier pentru îmbinarea ghidajelor; 16 — țevi pentru aer comprimat și apă; 17 — cabluri electrice; 18 — beton pentru pereți; 19 — burlan de aeraj; 20 — conductă pentru evacuarea apei.



— puțuri de mică adîncime, pînă la maximum 50—80 m, cu secțiune compartimentată — un compartiment pentru extracție și unul pentru circulație;

— puțuri de mare adîncime, peste 80—100 m, adîncimea maximă variind de la caz la caz, cu secțiunea compartimentată — 2 sau 3 compartimente.

Puțurile de explorare a căror adîncime depășește 80—100 m se sapă cu profil circular avînd diametrul de 4 m, 4,4 m sau 5 m (fig. XI.23), în funcție de adîncimea

proiectată (v. tabelul XI.2). Ele se susțin cu beton, grosimea pereților plus umplutura variind, în funcție de tăria rocilor, de la 250 + 100 mm în roci ET și FT la 300 + 100 mm în roci T și 300 + 100 sau 350 + 100 mm în roci ST și M.

Gabaritul puțurilor se stabilește ținând seama de următorii factori: adâncimea maximă a puțului, natura rocilor prin care se sapă, utilajul folosit, condițiile hidrogeologice, capacitatea de extracție, cantitatea și dimensiunile materialelor necesare lucrărilor de explorare în continuare, felul susținerii pereților puțurilor, sistemul de aeraj și de evacuare a apelor, posibilitățile de folosire a puțului pentru viitoarea exploatare.

Amplasarea puțurilor de explorare. Puțurile de explorare reprezintă o lucrare costisitoare și greu de executat. De aceea, amplasamentele lor, mai ales dacă se sapă de la suprafață, se aleg cu grijă, ținându-se seama de: topografia locului, natura rocilor, poziția puțului față de zăcămint, alegerea celei mai scurte căi pînă la zăcămint, suprafața necesară pentru amplasarea haldelor.

De multe ori, puțul de explorare se amplasează în afara corpului de zăcămint, pentru asigurarea stabilității sale și pentru a nu imobiliza o cantitate de rezerve în piciorul de siguranță al puțului. De obicei, puțul, ca și lucrările orizontale cu o durată mai mare, se amplasează în culcușul zăcămintului.

Gura puțului nu trebuie amplasată în zone expuse inundațiilor sau în terenuri nestabile.

În sectorul în care se amplasează puțul se face o ridicare topografică cu indicarea curbelor de nivel din 0,25 în 0,25 m pe o rază de 150 m, din 0,5 în 0,5 m pînă la o rază de 250 m, și din 1,00 în 1,00 m pînă la 500 m.

Săparea puțurilor de explorare. Săparea se execută prin metode obișnuite, utilizînd unelte manuale și utilaje mecanice.

Pentru săparea puțurilor de explorare la adâncimi mai mari de 50 m și cu secțiunea de săpare mai mare de 6 m², sînt necesare următoarele instalații și utilaje: turnul de săpare și mașina de extracție, instalațiile de aer comprimat, stația de ventilatoare, pompele pentru evacuarea apelor și atelierul mecanic.

Turnul de săpare al puțului poate fi construit din lemn sau din metal și se așază deasupra gurii puțului.

Dimensiunile și felul construcției gurii puțului sînt determinate de solicitările provocate de construcțiile care se sprijină pe gura puțului și de presiunile laterale ale terenului din jurul gurii puțului.

În mod obișnuit puțul se sapă mai întîi prin rocile alterate aflate la suprafață, pînă la rocile de bază. Pe această porțiune, pereții gurii puțului, care formează *gulerul*, se susțin provizoriu. După ce s-a ajuns în rocile de bază, se zidește un picior și apoi se execută susținerea definitivă a gurii puțului, cu beton.

După construirea gurii puțului se trece la construirea turnului de extracție. Sînt și cazuri mai rare, cînd se construiește întîi turnul de extracție provizoriu sau definitiv prevăzut cu troliu pentru săpare și apoi se sapă și se susține gura puțului. Acest procedeu poate pune însă în pericol turnul de extracție prin lucrările de exploatare (împușcare).

Turnul de săpare susține, la partea sa superioară, roțile de ghidare (molettele) a cablurilor de extracție. El servește totodată pentru susținerea cablurilor, pentru suspendarea pompelor, pentru fixarea cablurilor de ghidare a chiblei, la montarea platformei de descărcare a chiblei. Turnul are forma unui trunchi de piramidă cu înălțimea de 6—10 m și este prevăzut cu trei platforme sau poduri: una superioară — *pentru molette*, a doua așezată la 3 m deasupra gurii puțului — *platforma de descărcare*, și a treia așezată la nivelul gurii puțului — *platforma de încărcare*. Pe aceasta din urmă se așază plăci metalice și liniile de cale ferată pentru transportul vagonetelor încărcate

cu materiale ce se introduc în puț. Elementele constructive ale turnului de săpare constau din stîlpi, grinzi și contrafișe. Cînd acestea sînt din lemn se consolidează prin buloane și șuruburi.

Mașina de extracție pentru săpare constă dintr-un troliu cu unul sau doi tamburi și cu dispozitiv de frinare. Ea se așază lateral, la o distanță între axa puțului și axa mașinii de extracție, astfel calculată, ca unghiul de înclinare a cablului să fie de 45—60°.

În funcție de tăria rocilor și afluența de apă, săparea se face prin metode obișnuite sau prin metode speciale.

Metoda obișnuită de săpare constă în excavarea și evacuarea rocii. În roci tari și foarte tari, excavarea se face cu ajutorul explozivilor, iar în roci moi cu ajutorul uneltelor manuale sau a utilajelor mecanice. În primul caz, după ce s-a stabilit numărul, adâncimea găurilor de mină și cantitatea de exploziv la un salt, se plasează găurile de mină. Plasarea găurilor de mină depinde de: forma secțiunii puțului, tăria, înclinarea și stratificația rocilor, tipul explozivilor folosiți etc.

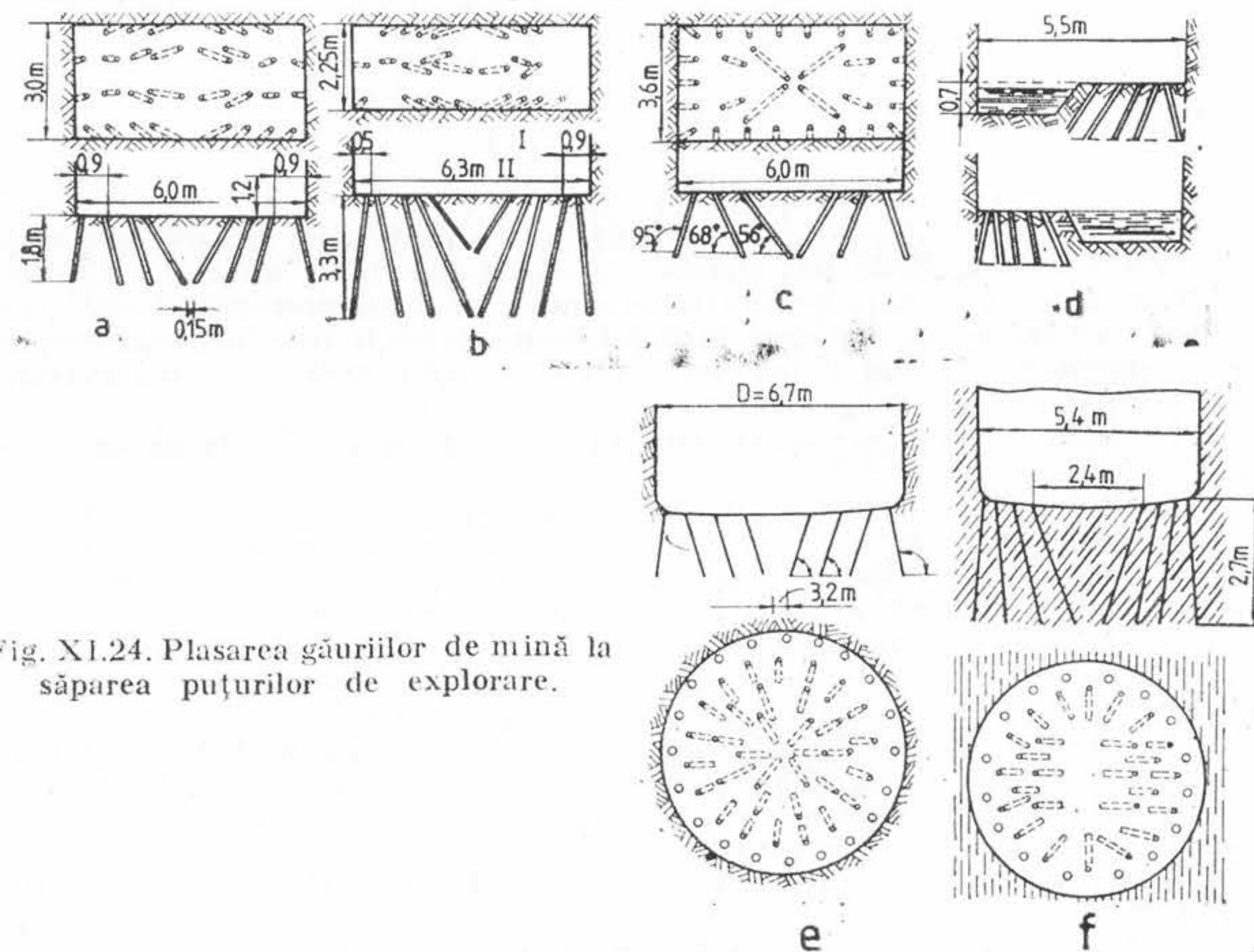


Fig. XI.24. Plasarea găurilor de mină la săparea puțurilor de explorare.

Ca și în cazul galeriilor, se folosesc găuri: de simbur, de lărgire și de profilare.

Schemele cele mai obișnuite de plasare a găurilor de simbur la săparea puțurilor dreptunghiulare sînt: simbur în formă de *pană centrală* (fig. XI.24, a) în cazul rocilor de tărie mare și medie, simburile în formă de *pană centrală dublă* (fig. XI.24, b) utilizat în roci foarte tari, simburile în formă de *piramidă centrală* (fig. XI.24, c) folosit în roci tari și simburile în formă de *pană laterală* (fig. XI.24, d) folosit în roci sistoase.

La săparea puțurilor circulare, găurile se plasează în mai multe cercuri concentrice având înclinări diferite (fig. XI.24, e); în cazul rocilor șistoase se obțin rezultate bune utilizând simburile în formă de *pană centrală* (fig. XI.24, f).

Adâncimea găurilor este în mod obișnuit de 1,5–2 m. Utilajele de perforare a găurilor constau din perforatoare pneumatice, furtunuri, sfredele și accesorii.

Evacuarea rocii rezultată în urma împușcării se face cu chibla care se încarcă cu ajutorul graifărului (fig. XI.25).

Pentru aerisirea frontului de lucru în timpul săpării se folosesc două sisteme de aeraj, ca și în cazul săpării galeriilor: aerajul aspirant și aerajul refulant.

Aerajul refulant este indicat datorită avantajelor pe care le prezintă față de sistemul aspirant, și anume: favorizează circulația normală pe puț a gazelor de explozie, ajută amestecarea mai intensă a gazelor nocive și evacuarea mai bună a aerului viciat, introduce în puț aer uscat. Distanța (l) de la tuburile de aeraj până la frontul de lucru se determină cu relațiile:

— pentru aerajul aspirant

$$l = 3 \sqrt{S} \quad [\text{m}];$$

— pentru aerajul refulant

$$l = 6 \sqrt{S} \quad [\text{m}]$$

în care S este secțiunea de săpare a puțului, în m^2 .

Instalația de aeraj cuprinde: ventilatorul, tuburile de aeraj și ușile care acoperă gura puțului. Ventilatoarele sunt tubulare și sunt acționate de un motor electric de 7,5 kW. Tuburile de aeraj sunt din tablă zincată cu diametrul de 300–400 mm și lungimea de 2 m, pentru îmbinare fiind prevăzute cu fanșe fixe. Instalația de producere și transport a aerului comprimat cuprinde compresoarele, rezervoarele-tampon, conductele de aer comprimat și accesorii.

Instalația de evacuare a apei constă din una sau două pompe cu piston — acționate pneumatic, sau centrifugale — acționate electric.

Susținerea puțurilor de explorare. La adâncimi care nu depășesc 40–50 m, în cazul rocilor tari și foarte tari, puțurile nu se susțin, însă se prevăd cu cadre pentru compartimentare și amenajare cu poduri și scări de circulație. Aceste cadre se așază la intervale de 2–6 m; grinzi (tropanul) se încastrează în pereții puțului.

În roci semitari puțurile se susțin cu cadre de lemn rotund sau ecarisat cu diametrul de 15–25 cm, îmbinate în prag drept sau în coadă de rândunică și așezate în cîmpuri, la intervale de 0,5–1,5 m. Între două cadre, la colțuri, se așază stâlpi (popi). În cazul presiunilor mari, cadrele de susținere se așază în desiş, adică unul peste altul și se sprijină la anumite intervale pe tropane (cadrul purtător).

Susținerea în lemn se execută în mod obișnuit pe tronsoane, concomitent cu săparea, după ce puțul a fost săpat 2–6 m.

Viteza de execuție a susținerii în desiş este de 3–4 m/24 ore, iar în cîmpuri de 4–6 m/24 ore.

În timpul așezării cadrelor se face verificarea orizontabilității cadrelor cu ajutorul echerului cu fir cu plumb sau cu nivela.

Verificarea verticalității se face cu patru fire cu plumb suspendate în colțurile puțurilor. Pe măsura adâncirii puțului se montează și ghidajele. Acestea se fac din grinzi de lemn de brad sau pin, lungi de 4–8 m, cu secțiunea de 10×10 cm sau 15×20 cm.

Susținerea puțurilor de explorare care depășesc 40–50 m adâncime se face în beton, în sens descendent, în tronsoane de câte 7 m, adică la nivelul unui picior de

sprijin și se execută concomitent cu săparea puțului, cu ajutorul cofrajelor glisante metalice (fig. XI.25). Susținerea se montează în imediata apropiere a frontului de lucru, pe tronsoane scurte, sensul de betonare a puțului este descendent, iar fiecare tronson se betonează ascendent, tehnologia operațiilor executându-se în ordine succesivă. Operația de betonare se desfășoară sub protecția unui pod.

Lucrările de amenajare cu moaze a puțului se fac de la nivelul platformei superioare a podului, pe platforma inferioară fiind așezate troliile de suspendare a graifărului de încărcare a materialului rezultat de la împușcare. Ambele platforme sunt prevăzute cu orificii tubate pentru trecerea chiblelor, a conductei de aeraj, a țevelor de aer comprimat și a conductelor prin care se introduce betonul.

Betonul se prepară la gura puțului, într-o instalație care se compune dintr-un siloz pentru pietriș și unul pentru nisip, betoniere, dozatoare, un elevator și o bandă pentru transportul cimentului cu clorură de calciu dizolvată. Dozarea materialelor pentru prepararea betonului se face volumetric.

Susținerea puțurilor în beton realizată cu ajutorul cofrajelor glisante are avantajul obținerii unor viteze mari de lucru, și reducerii substanțiale a costurilor.

Documentarea geologică se face ca și în cazul puțurilor de mină, cu mențiunea că se insistă foarte mult pe probare, în vederea stabilirii caracteristicilor fizico-mecanice ale rocilor în care se sapă.

Un puț de explorare poate deveni în fază de exploatare puț de aeraj, de rambleu sau chiar de extracție.

În cazurile când nu pot fi folosite în faza următoare a exploatării, puțurile se părăsesc rambleindu-se, după recuperarea materialelor de susținere și a utilajelor cu care au fost dotate.

2.2.4. GALERII DE EXPLORARE

Sunt lucrări miniere orizontale săpate în zăcămint sau în rocile înconjurătoare, plecând de la suprafață, sau din subteran, de la o altă lucrare de explorare. Din ele se sapă lucrările miniere de explorare pe înclinarea zăcămintului — suitori, coboritori, plane înclinate.

Obiective urmărite. Prin galeriile de explorare se urmărește cercetarea zăcămintului pe direcție sau transversal pe direcția acestuia, pentru a determina: elementele

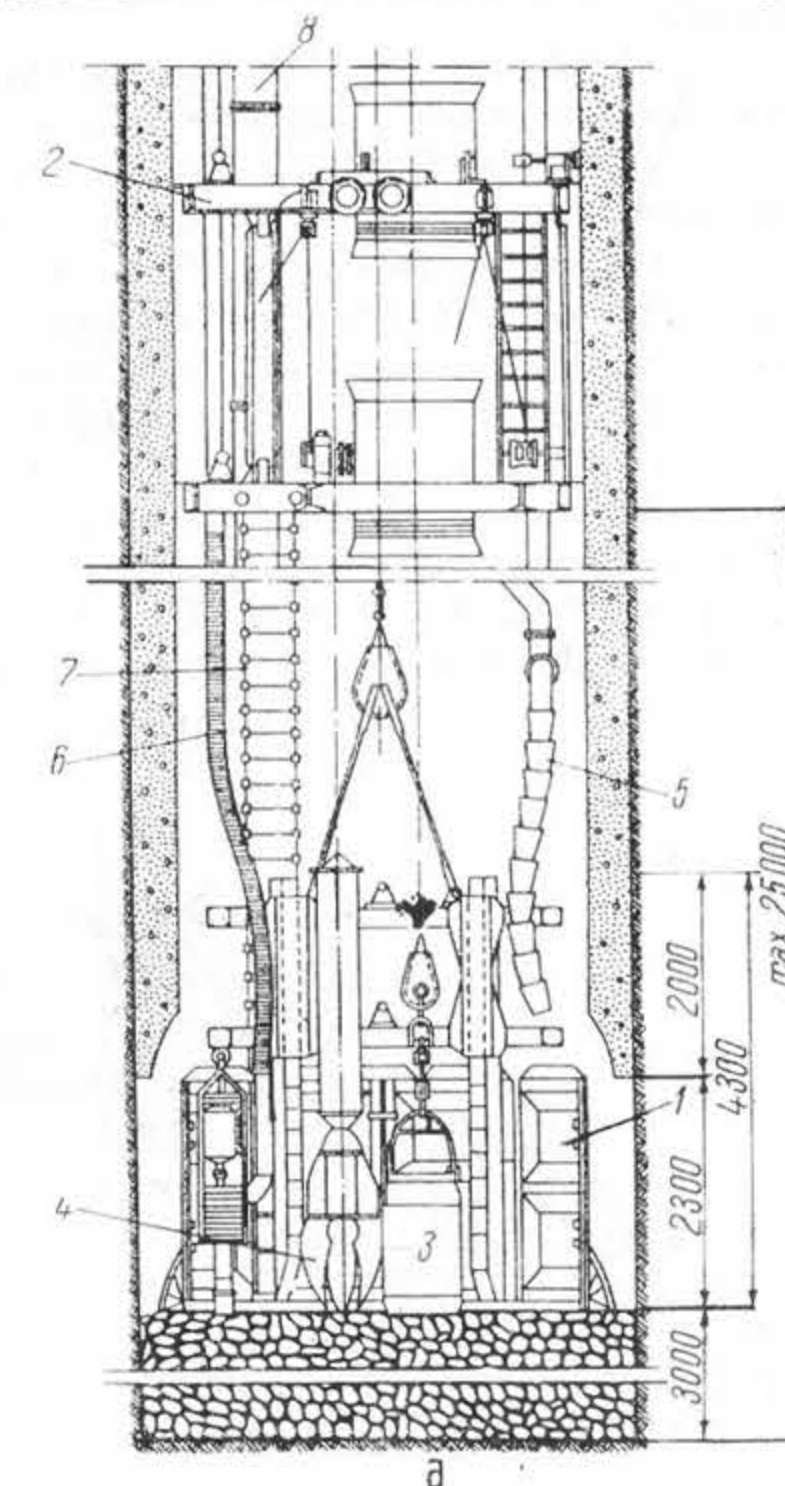


Fig. XI.25. Betonarea puțului concomitent cu săparea:

1 — cofraj glisant; 2 — pod de protecție; 3 — chibla; 4 — graifăr; 5 — conductă flexibilă; 6 — furtun de aer comprimat; 7 — scară mobilă; 8 — conductă de aeraj.

lui geometrice și de poziție și variațiile acestora, calitățile substanței minerale utile, accidentele tectonice și natura rocilor înconjurătoare.

Amplasarea galeriilor de explorare. Când zăcămintul este localizat în terenuri accidentate, explorarea lui se face prin galerii, urmărindu-se cercetarea lui la diferite nivele.

După direcția față de zăcămintul urmărit, galeriile de explorare se împart în: galerii *transversale* și galerii *direcționale*.

Atât galeriile transversale cât și cele direcționale pot fi executate de la zi, sau din alte lucrări subterane (puțuri, plane înclinate etc.).

Galeriile transversale se execută de obicei în steril și au ca scop intersectarea corpurilor de minereu. Galeriiile direcționale se execută de obicei în zăcămint și urmăresc deschiderea acestuia pe direcție (fig. XI.26).

Galeriile transversale sau direcționale, când sînt începute la zi, poartă denumirea de *galerii de coastă*.

În cazul galeriilor direcționale, când grosimea zăcămintului este mai mare decît secțiunea galeriei, aceasta se sapă pe lîngă peretele cel mai stabil, de obicei în culcușul zăcămintului. Când zăcămintul este neregulat, sau are infiltrații puternice de apă, galeria direcțională se execută la o oarecare distanță de zăcămint, iar din

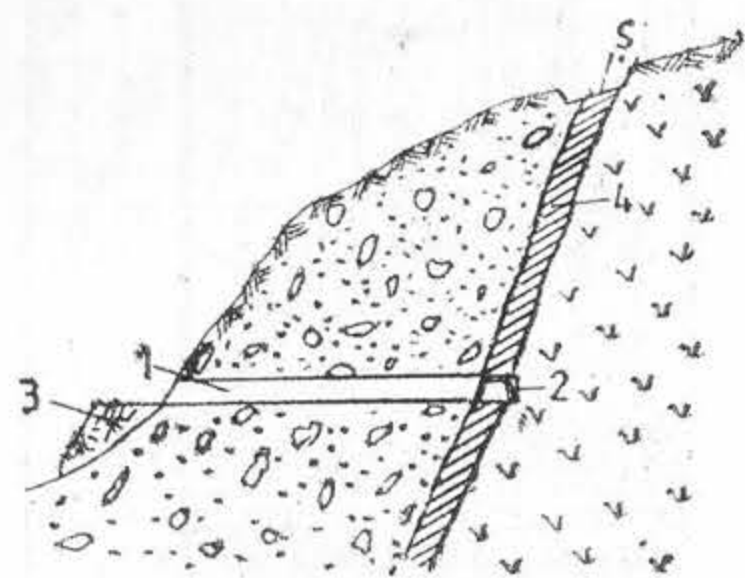


Fig. XI.26. Explorarea unui zăcămint de formă tubulară, situat într-un teren accidentat, prin galerii:

1 — galerie transversală de coastă; 2 — galerie direcțională în zăcămint; 3 — haldă; 4 — filon; 5 — șanț de prospecțiune sau de explorare.

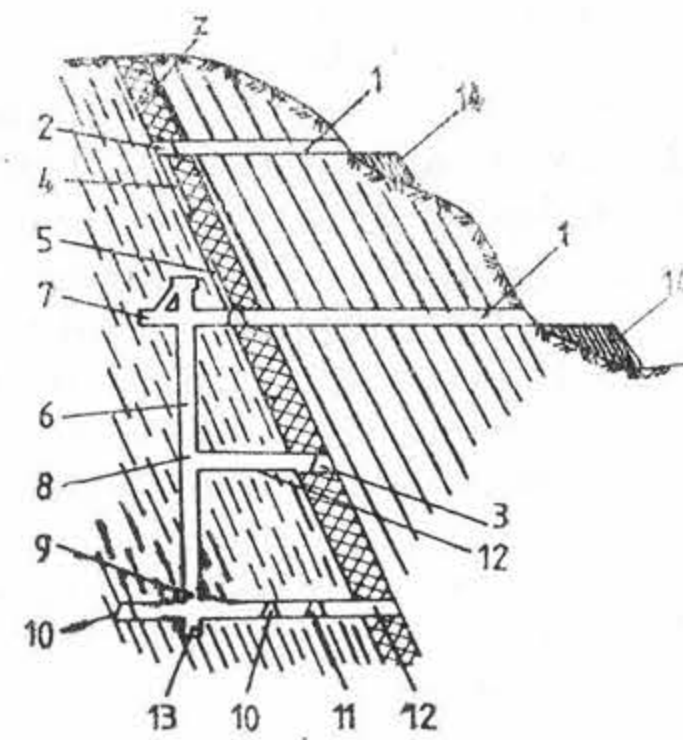


Fig. XI.27. Explorarea unui zăcămint de formă tabulară prin lucrări miniere combinate:

Z — zăcămint; 1 — galerie de coastă; 2 — direcțională pe culcuș; 3 — direcțională de acoperiș; 4 — coboritoare; 5 — suitoare; 6 — puț orb; 7 — camera trolului; 8 — rampă simplă; 9 — rampă dublă; 10 — galerie de ocol; 11 — direcțională în culcuș; 12 — transversală principală; 13 — jomp; 14 — haldă.

aceasta la echidistanța de 25—50 m, din loc în loc, se sapă galerii transversale scurte (nișe), care traversează zăcămintul pe grosime.

Pentru cercetarea zăcămintului în adîncime, când acesta nu mai poate fi deschis la nivelele respective prin galerii de coastă, se sapă un puț orb sau de la zi de explorare, în culcușul zăcămintului, din care se continuă explorarea acestuia prin galerii transversale și direcționale (fig. XI.27).

Forma și dimensiunile galeriilor de explorare. Profilul galeriilor poate să fie: trapezoidal (fig. XI.28), boltit, sub formă de potcoavă, circular, în funcție de natura rocilor și felul susținerii.

După secțiune (v. tabelul XI.2), galeriile de explorare se pot împărți în trei categorii:

— galerii cu secțiune mică, de 2,30—5,60 m²;

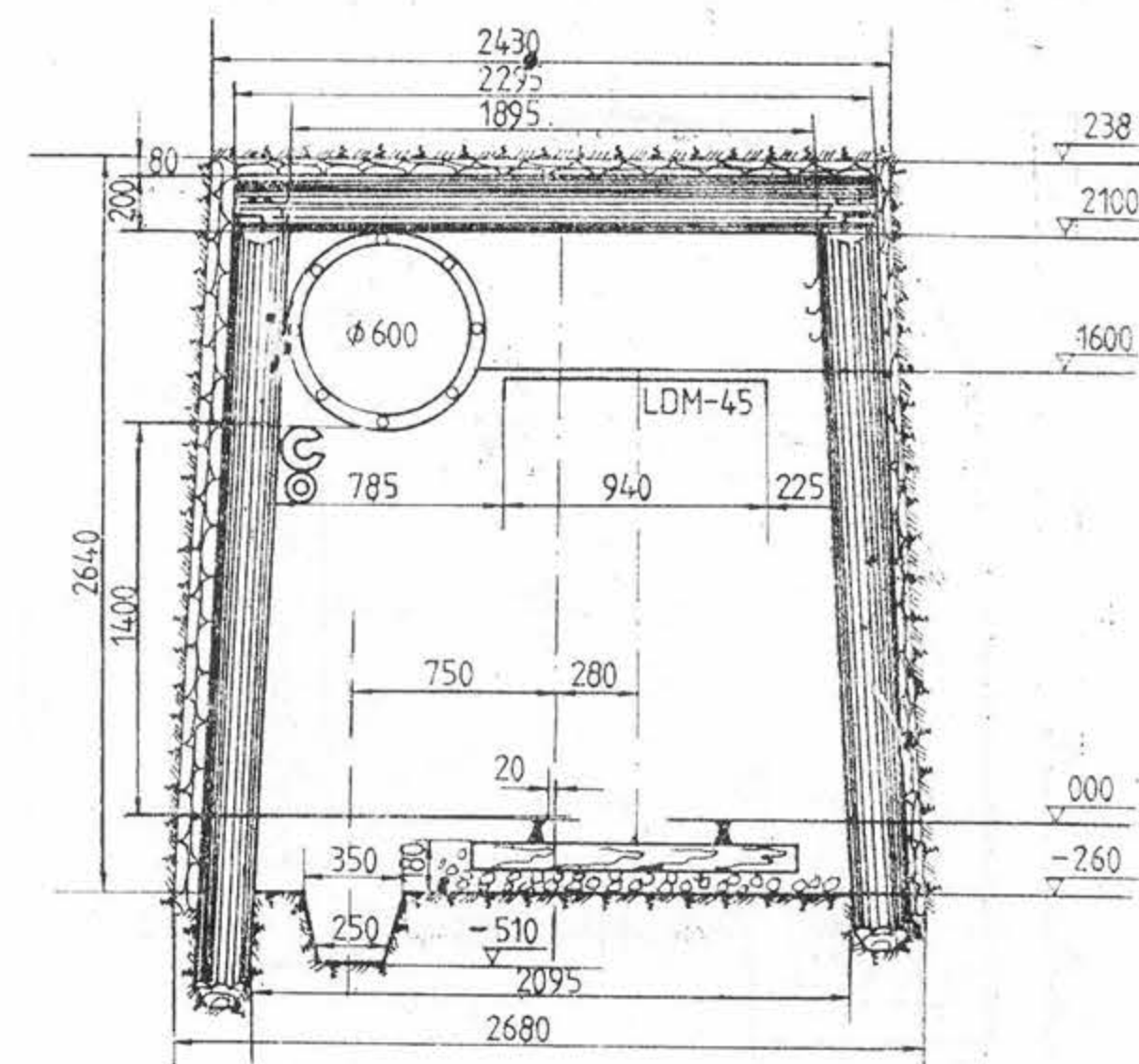


Fig. XI.28. Galerie de explorare G4L — 6,80 m², cu profil trapezoidal, susținută în lemn.

— galerii cu secțiune mijlocie, de 6,20—9,30 m²;

— galerii cu secțiune mare (duble), de 9,40—18,30 m²

Galeriile din ultimele două categorii se execută în cazurile când acestea au lungimi de peste 500 m și se prevede folosirea lor și în lucrările de exploatare.

După natura formațiunilor geologice în care se sapă, galeriile pot fi susținute și nesusținute.

Alegerea profilului de săpare a galeriilor de explorare. Factorii principali care determină alegerea profilului de săpare a unei galerii sînt:

— volumul transportului;

— gabaritul (dimensiunile maxime) locomotivelor și al vagonetelor cu care urmează să se facă transportul;

— aerajul lucrărilor miniere;

— modul de susținere;

— gabaritul celor mai mari piese din mașinile ce urmează a se monta în subteran;

— viteza de săpare a galeriei respective;

— normele de tehnica securității muncii.

Calculul secțiunilor transversale ale galeriilor se face în funcție de forma profilului.

Pentru galerii de explorare s-au elaborat *proiecte tip* care se deosebesc prin forma, mărimea secțiunii și felul susținerii galeriilor etc. Aceste proiecte tip prezintă o mare importanță, prin faptul că în prezent toate lucrările miniere respectă aceleași principii, ceea ce face posibilă standardizarea mijloacelor de transport; experiența obținută la un șantier sau la o mină, la săparea galeriilor, poate fi extinsă la toate celelalte etc.

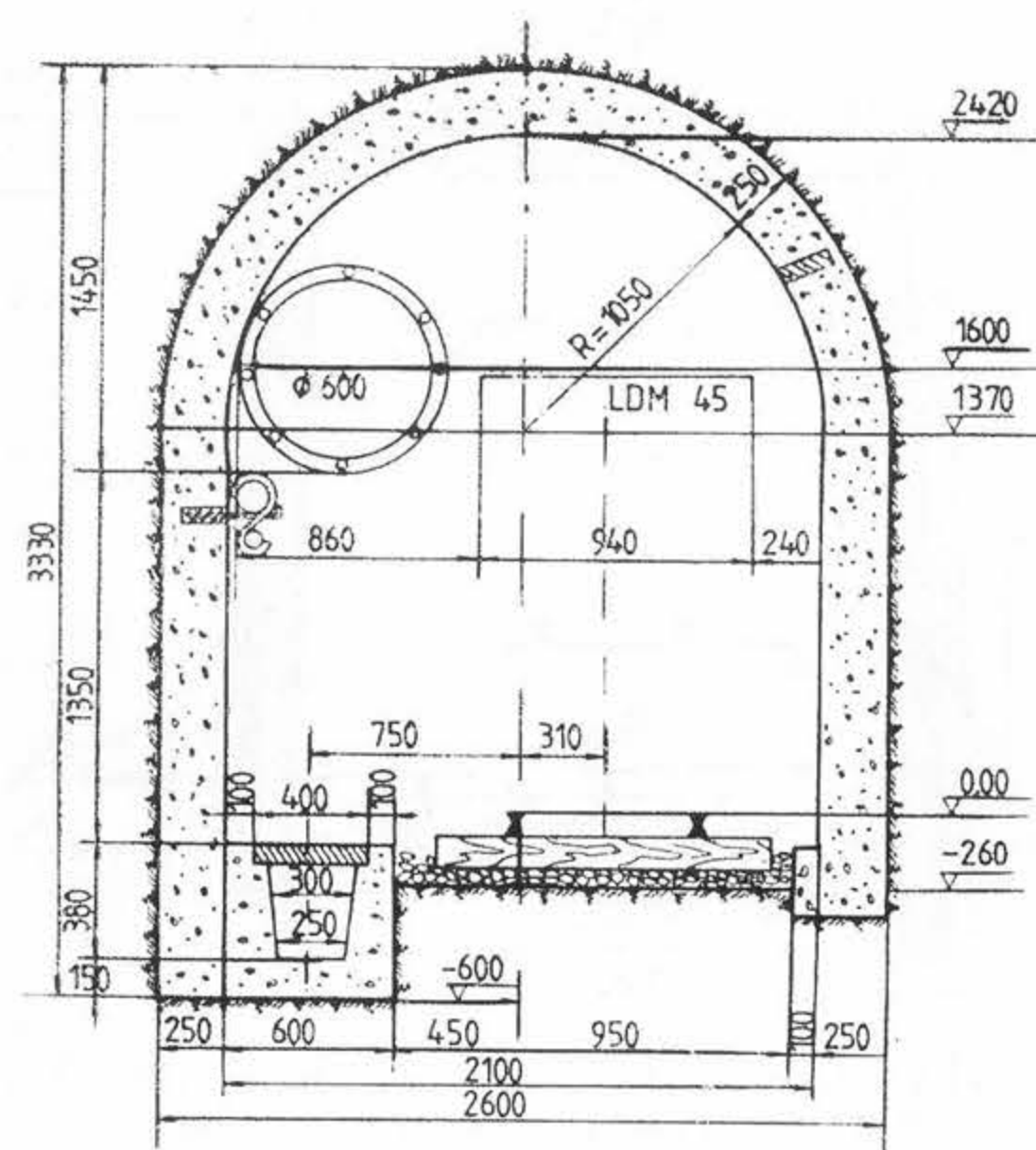


Fig. XI.29. Galerie de explorare (G5B—7,30 m², cu profil boltit, susținută în beton.

Din examinarea profilelor tip (fig. XI.28, XI.29 și XI.30) se constată următoarele elemente comune:

— Ecartamentul prevăzut pentru toate galeriile este de 600 mm, 630 mm și 750 mm, în funcție de capacitatea vagonetelor și a locomotivelor.

— Distanța între vagonete sau locomotivă și peretele galeriei pe partea unde nu circulă personalul este de 200 mm la galeriile nesusținute și la cele susținute cu boltari sau în beton. În galeriile susținute în lemn această distanță este de 250 mm.

— Distanța dintre locomotivă și perete, în partea galeriei pe unde circulă personal, este de 600 mm pentru galeriile nesusținute sau zidite, prin care circulă trenuri cu o viteză mai mică de 6 km/h, și de 750 mm, pentru galeriile susținute în lemn. Pentru galeriile principale de transport, unde trenurile circulă cu viteze mai mari de 6 km/h, această distanță este de 800 mm.

— Înălțimea minimă admisă a unei galerii, de la coroana șinei la tavan, este de 2 000 mm la galeriile simple, susținute cu lemn, pe care nu se face transportul cu loco-

motive electrice cu troleu. Dacă transportul se face cu locomotive electrice cu troleu, înălțimea minimă de la coroana șinei la troleu este de 2 200 mm.

— Înclinarea pereților galeriilor cu profil trapezoidal este de 125 mm/m.

— Panta galeriilor poate varia între 2 și 6%. Dacă pe aceeași galerie se face și transport de rambleu în sens invers transportului de minereu sau de cărbuni, panta nu trebuie să depășească 2%. În ceea ce privește canalele pentru evacuarea apelor, este necesar ca viteza apei să nu fie sub 0,25–0,50 m/s și să nu depășească 1,8–

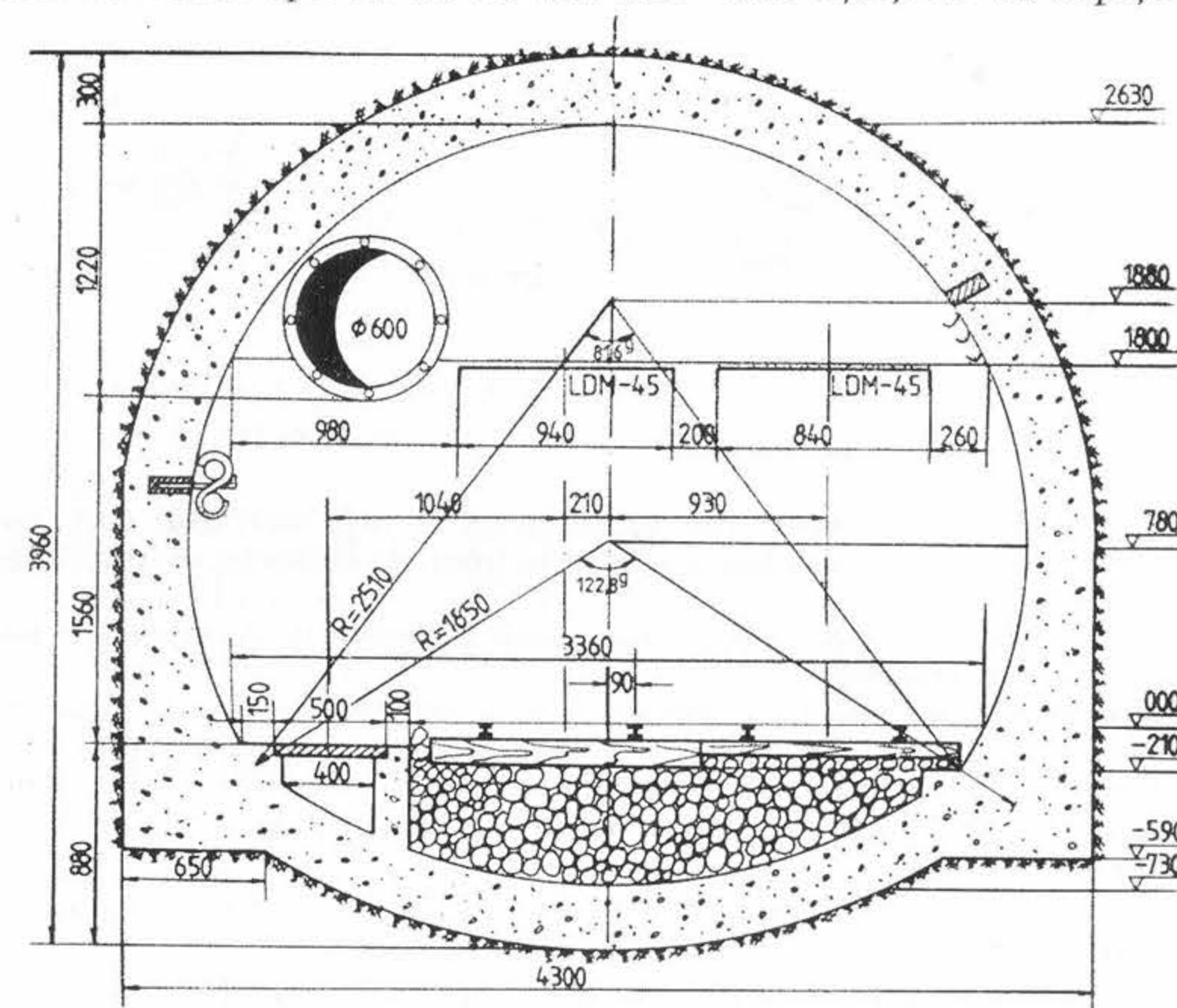


Fig. XI.30. Galerie de explorare dublă G7Bv—14,00 m², cu vatră închisă, susținută în beton.

2,5 m/s în roci moi și de tărie medie și 3,5–4,5 m/s în roci tari. Înclinarea pereților canalului poate varia între 1/2 și 1/4, după tăria rocilor.

Săparea galeriilor se face prin *metode obișnuite*, când rocile sînt stabile și nu există o afluență prea mare de apă, și prin *metode speciale*, în cazul rocilor nestabile, slabe și cu afluență mare de apă.

Săparea și susținerea galeriilor de explorare cu metode obișnuite. Operațiunile principale ale procesului de săpare a unei galerii de explorare sînt:

- excavarea rocilor;
- încărcarea și evacuarea materialului extras;
- susținerea lucrării, cînd natura rocilor în care se sapă necesită susținere.

Operațiunile secundare ce survin în procesul săpării constau în montarea conductelor de aeraj a conductelor și cablurilor electrice pentru alimentarea utilajelor din frontul de lucru cu apă, aer comprimat și energie electrică, probarea frontului de lucru, cartarea geologică și ridicarea topografică a lucrării etc.

— **Săparea.** Executarea săpării oricărei lucrări miniere se face pe baza unui proiect de explorare care trebuie să prevadă în mod obligatoriu: necesitatea lucrării miniere respective, amplasamentul ei în funcție de scopul urmărit și de condițiile locale, dimensiunile lucrării (formă, secțiune, lungime), alegerea procedurii de săpare și de evacuare, cu indicarea și justificarea elementelor de săpare ca: profil de săpare, alegerea utilajului și stabilirea necesarului de utilaj, organizarea desfășurării procesului săpării (componența echipei de lucru, graficele de lucru etc.).

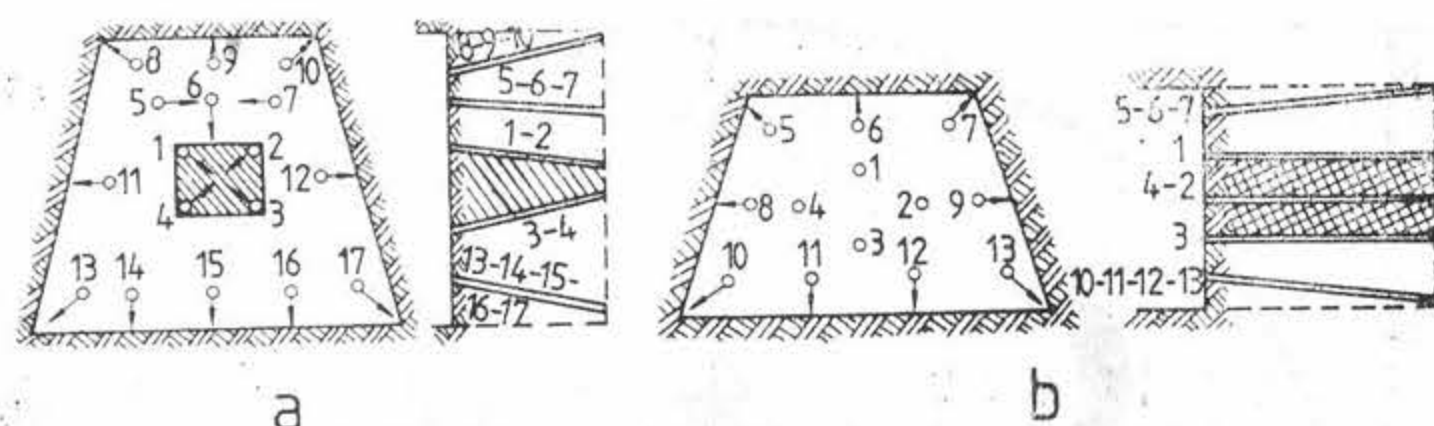


Fig. XI.31. Scheme de amplasare a găurilor în frontul galeriei:

a — cu simbre piramidale; b — cu simbre prismatice.

Viteza de înaintare, consumul specific, ca și alți indicatori sînt foarte mult influențați de modul cum sînt plasate găurile în front, de distanța dintre ele și de înclinarea lor.

Găurile folosite pentru realizarea unui avans al frontului de săpare al unei galerii de explorare sînt de trei feluri:

— **găuri de simbre** sau de **degajare**, care se impușcă în primul rînd și au rolul de a produce o suprafață liberă (în fig. XI.31 a și b, găurile numerotate: 1, 2, 3, 4);

— **găuri de lărgire** care explodează după găurile de simbre și produc ruperea masivă în front, folosind suprafețele libere create de găurile de simbre (în fig. XI.31, a, găurile numerotate: 5, 6, 7);

— **găuri de profilare**, care se impușcă la urmă și au rolul de a da lucrării miniere forma dorită (în fig. XI.31, a, găurile numerotate: 8...17).

După direcția găurilor de mină față de suprafața frontului de săpare, se deosebesc trei tipuri principale de simbre de explozare folosiți la săparea galeriilor de explorare:

— **Simbre unilaterali.** Se caracterizează prin aceea că toate găurile de mină care conturează simbrele au înclinarea în aceeași parte a frontului de săpare: lateral, spre tavan (superior) sau spre vatră (fig. XI.32).

Săparea cu simbre laterali se folosește în cazul rocilor stratificate cu înclinare mare și cînd lucrarea se execută de-a lungul contactului a două formațiuni geologice. Găurile sînt dirijate lateral, spre contactul dintre roci.

În celelalte cazuri se practică simbrele unilateral superior, dacă stratificația înclină către sensul de săpare a lucrării, sau simbrele unilateral inferior, cînd stratificația înclină spre frontul de lucru.

— **Simbre convergenți.** La aceștia găurile se execută convergent, de regulă cu înclinarea spre axul longitudinal al lucrării miniere (fig. XI.33). Pot fi de mai multe feluri:

— **simbre piramidale** (fig. XI. 33, a), frecvent folosit în roci omogene și la galerii cu secțiune mică, sub 6 m²;

— **simbre până verticală** (fig. XI 33, b), folosit la săparea galeriilor cu secțiuni mai mare de 6 m².

— **Simbre cilindrici.** Găurile de mină se perforează perpendicular pe suprafața frontului și sînt paralele între ele. Dintre găurile perforate, unele nu se încarcă cu exploziv (fig. XI.34) fiind **găuri pasive**, ele avînd rolul de a crea suprafețe libere pentru celelalte găuri.

După aranjamentul găurilor active și pasive, se folosesc:

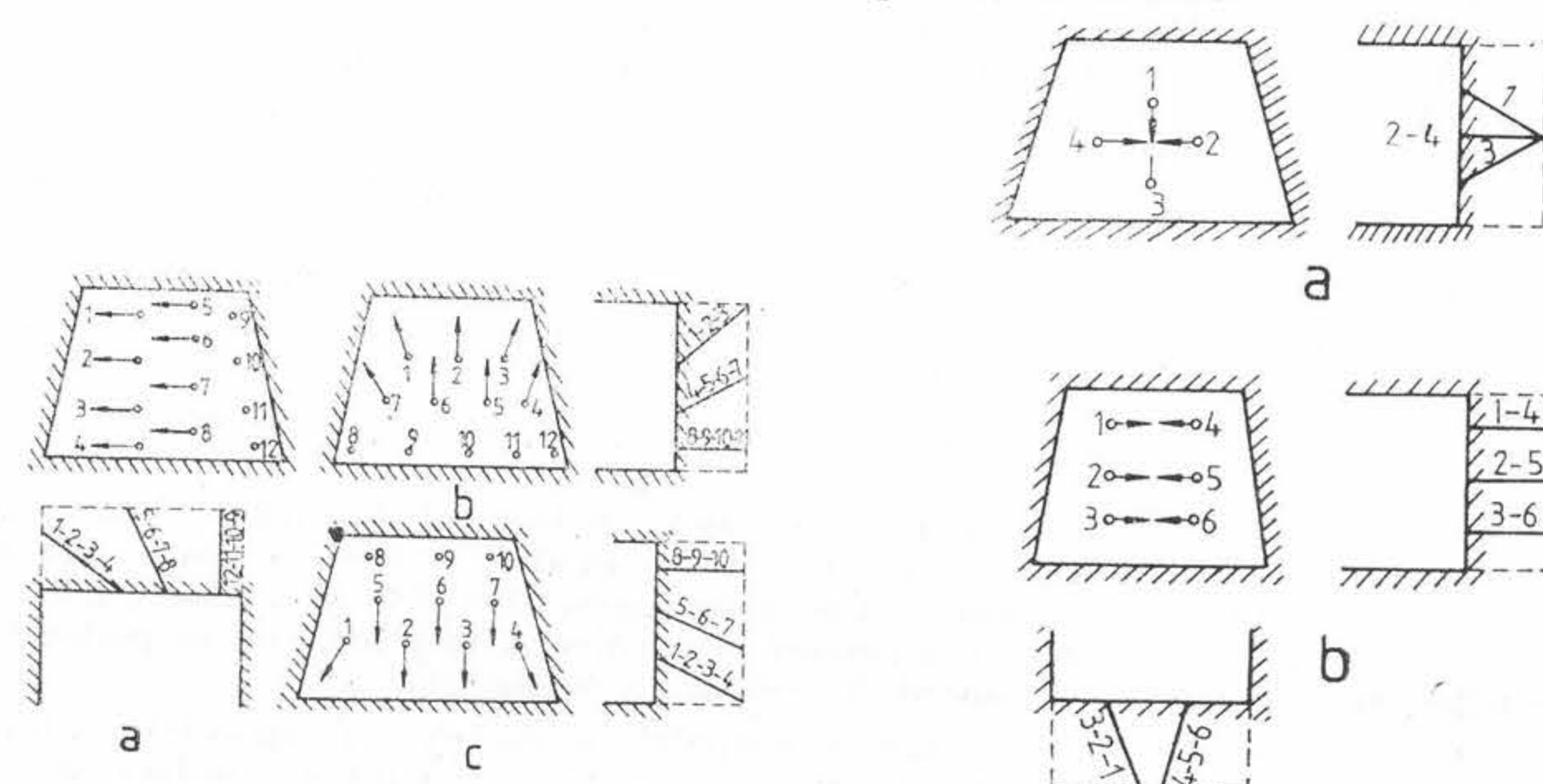


Fig. XI.32. Simbre unilaterali:

a — simbre lateral; b — simbre unilateral superior; c — simbre unilateral inferior.

— **simbre trifoi** (fig. XI.34, a), cu trei sau patru găuri active și una pasivă (se aplică la săparea în roci plastice sau în gresii);

— **simbre prismă** (fig. XI.34, b) care constă din șiruri de găuri active, alternînd cu găuri pasive, sau din găuri active și pasive ce alternează pe același șir (se aplică la săparea în roci tari și foarte tari).

Fig. XI.33. Simbre convergenți: a — simbre piramidale; b — simbre până verticală.

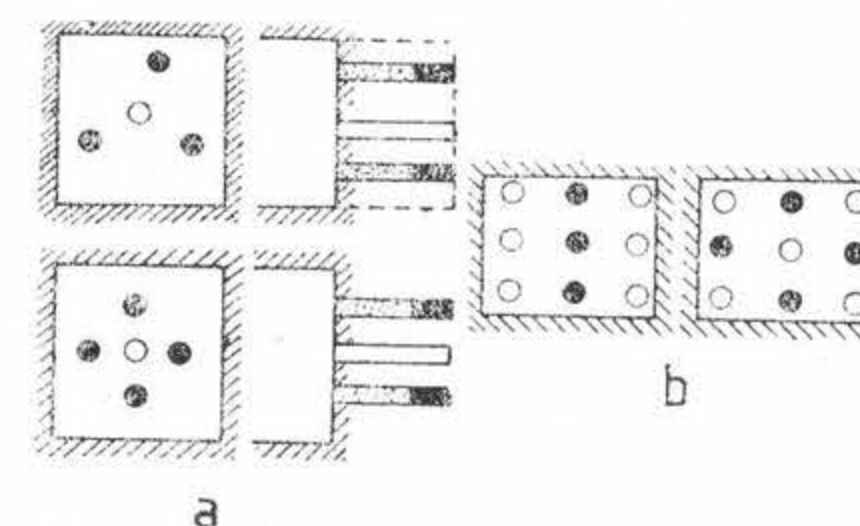


Fig. XI.34. Simbre cilindrici.

Evacuarea materialului din frontul de lucru constă din sfărîmarea bucăților mari de rocă, încărcarea materialului în vagonete și transportul lui pînă la puț, pînă la galeria principală de transport sau direct pînă la gura galeriei și de aici la haldă. Încărcarea din frontul de lucru în vagonete se face manual sau mecanic.

La încărcarea manuală productivitatea este influențată de înălțimea de încărcare de distanța de aruncare cu lopata, de starea vetrei, de starea materialului împușcat etc.

Dacă pe vatră se așază foi de tablă de oțel (groase de 3–6 mm) înainte de împușcare, productivitatea de încărcare crește cu 25–20% față de încărcarea de pe vatră obișnuită.

Productivitatea la încărcare variază între 3 și 5 m³ pe schimbul de 8 ore.

Încărcarea mecanică se poate face cu screperul sau cu mașini de încărcat.

Încărcarea materialului cu screperul se poate aplica chiar și în galeriile cu profil mic, de 3–4 m², realizându-se o productivitate medie de 4–5 m³/h. Screperul poate fi folosit cu succes când materialul de încărcat se prezintă sub formă de bucăți mai mari.

Încărcarea cu mașini de încărcat este frecvent folosită pe șantierul de explorare (v. tabelul XI.2). Se folosesc, în mod obișnuit, mașinile cu încărcare discontinuă care constau în principiu din: căruciorul cu roți, care circulă pe șenile; platforma așezată pe o placă turnantă, care permite rotirea mașinii; culisa basculantă cu lingură; dispozitivul de acționare compus din motoare pneumatice sau dintr-un singur motor electric.

Aceste mașini se întrebuintează la lucrările miniere ce se sapă în roci tari. Ele pot încărcă bucăți de rocă de 300–350 mm.

Pentru a asigura evacuarea materialului din frontul de lucru, este necesar ca distanța de la front până la linia ferată să fie cât mai mică.

Încărcarea unui vagonet cu ajutorul mașinii de încărcat durează 1–3 min, iar îndepărtarea manuală a vagonetului plin și aducerea altui vagonet gol poate dura un timp mai mare. Din această cauză manevrarea vagonetelor pline și a celor goale trebuie făcută repede, prin folosirea anumitor dispozitive și prin organizarea perfectă a lucrărilor, aplicând diverse scheme de manevrare a vagonetelor.

O altă posibilitate de scurtare a timpului de manevră a vagonetelor, atunci când se folosește mașina de încărcat, este de a instala, după mașina de încărcat, un transportor mobil cu raclete. Aceasta permite introducerea sub el a întregului tren gol. În acest scop, transportorul este fixat la înălțimea potrivită, materialul ridicat de mașina de încărcat cade pe transportor, iar trenul de vagonete este tras de locomotivă pe măsură ce vagonetele sînt pline.

Condițiile principale de protecție a muncii care trebuie îndeplinite la săparea lucrărilor miniere sînt:

- asigurarea unui aeraj cât mai bun;
- reducerea conținutului de praf de siliciu;
- asigurarea unui iluminat cât mai bun.

Aerajul frontului de lucru, în timpul săpării galeriei de explorare, se face cu instalații de aeraj secundar formate din tuburi de aeraj și ventilatoare axiale montate în coloane de tuburi.

Tuburile sînt confecționate din tablă zincată, pînă cauciucată sau din material plastic, cu diametre de 300 mm sau mai mari. Se folosesc trei sisteme de aeraj secundar: *aspirant*, *refulant* și *mixt* (fig. XI.35).

Cel mai utilizat este sistemul de *aeraj aspirant*, care prezintă avantajul captării gazelor din front și împiedică răspîndirea acestora pe traseul galeriei. În galeriile de explorare de lungime mare, în coloana de tuburi de aeraj se montează o serie de ventilatoare. Al doilea ventilator se așază la o distanță de 0,3–0,4 din lungimea de aspirație l a primului ventilator (cel mai apropiat de front).

Debitul de aer necesar aerisirii frontului de lucru în cazul aerajului aspirant, refulant și mixt se determină cu relațiile:

– pentru aerajul aspirant

$$Q_a = 0,6 \frac{Sl}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} = 0,6 \frac{V_1}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} [\text{m}^3/\text{min}];$$

– pentru aerajul refulant

$$Q_r = 5 \frac{SH}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} = 5 \frac{V_2}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} [\text{m}^3/\text{min}];$$

– pentru aerajul mixt

$$Q_m = 0,5 \frac{V_3}{t} \sqrt{\frac{C_1}{C}} [\text{m}^3/\text{min}],$$

în care: V_1 este volumul zonei inițiale a gazelor toxice, m³;

V_2 – volumul galeriei (puțului) în săpare, m³;

V_3 – volumul galeriei de la digul D la frontul de săpare, m³;

t – durata aerajului după explozie, 20–30 min;

S – aria transversală a galeriei, m²;

C_1 – concentrația inițială de gaze toxice, recalculate în CO convențional, %;

C – concentrația maximă de CO convențional admis în aerajul ce iese din galerie (0,02%).

Eliminarea prafului din frontul de lucru se realizează prin perforare, în mod obligatoriu numai cu injecție de apă.

În locurile de muncă cu praf de silice trebuie aplicat aerajul aspirant.

Intensitatea luminoasă a lămpii în locul de muncă trebuie să fie de 15–25 lx.

– **Susținerea** se face cu lemn (v. fig. XI.28), iar în cazul presiunilor mari și când galeriile au o durată mai mare de existență se pot folosi pentru susținere beton (v. fig. XI.29 și XI.30), zidărie, prefabricate de beton, susțineri metalice sau o combinație a acestora.

Susținerea în lemn Lemnul este folosit și în prezent pe scară largă la susținerea galeriilor de explorare de scurtă durată. Acest fapt se datorează calităților favorabile ale lemnului, ca material de susținere: se fuzionează ușor, nu se rupe brusc, avînd o mare elasticitate, iar costul inițial al susținerii în lemn este mai redus decît al susținerii în beton sau al celei metalice. Lemnul însă putrezește ușor în atmosfera din subteran, se recuperează greu și nu mai poate fi refolosit în aceleași condiții.

Forma cadrelor întrebuintate la susținerea galeriilor diferă după mărimea și orientarea presiunii. Se întrebuintează *cadre simple*, cînd unei laturi a profilului lucrării miniere îi corespunde o grindă sau un stîlp, și *cadre complexe*, cînd susținerea tavanului, a vetrei sau a pereților se execută din mai multe elemente poligonale.

După cum perimetrul lucrării este susținut integral sau nu, se deosebesc cadre *închise* și cadre *deschise*.

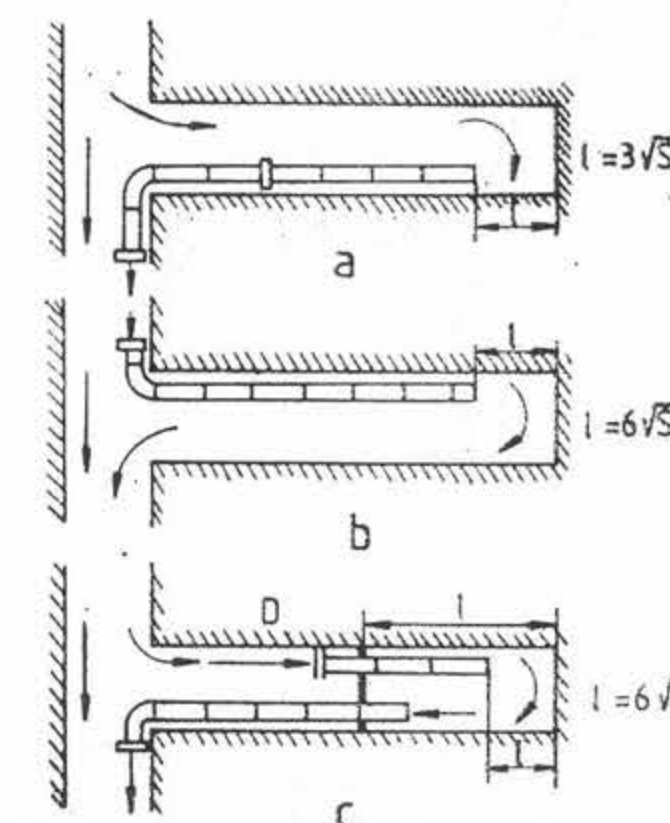


Fig. XI.35. Scheme de aeraj la săparea galeriilor:
a – aspirant; b – refulant; c – combinat.

Dintre cadrele simple, cel mai folosit este *cadrul trapezoidal deschis* (v. fig. XI.28), compus dintr-o grindă și doi stâlpi uniform înclinați. Dacă sînt presiuni și din vatră (talpă), se așază și aici o grindă, cadrul devenind un *cadru trapezoidal închis* (fig. XI.36). În cazul presiunilor importante, diferitele elemente ale cadrelor se întăresc cu *contrafișe* sau cu *grinzi suplimentare (juguri)*, așezate după direcția lucrării (fig. XI.37). În funcție de rezistența rocilor din acoperiș sau pereți se folosesc *cadre incomplete* (fig. XI.38).

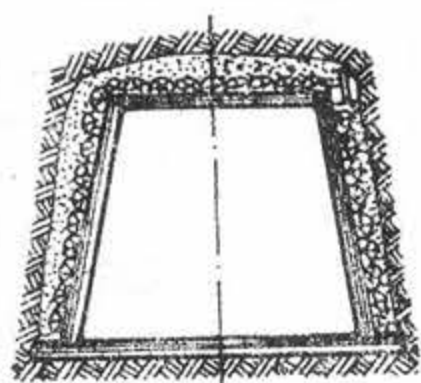


Fig. XI.36. Cadru trapezoidal închis.

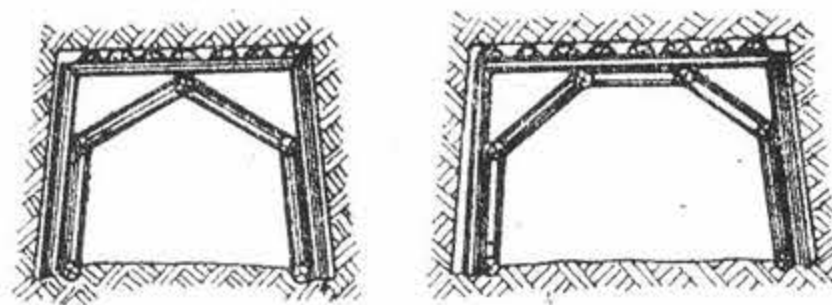


Fig. XI.37. Cadre trapezoidale întărite.

În cazul presiunilor mai mari, care acționează din toate părțile, se întrebunțează cadrele poligonale (cu 5, cu 6 sau cu 8 laturi).

Îmbinarea bună a elementelor cadrului constituie o condiție esențială a calității susținerii. Se întrebunțează în mod curent *îmbinarea în dinte sau prag* (fig. XI.39, a, b, c) și *îmbinarea în scobitură (șor)* (fig. XI.39, d). Îmbinarea în dinte se folosește atunci cînd există și presiuni laterale, iar îmbinarea în scobitură se folosește în cazul presiunilor mari de tavan.

La îmbinarea contrafișelor cu grinda și cu stâlpii se folosesc și scoabe de oțel care întăresc îmbinarea.

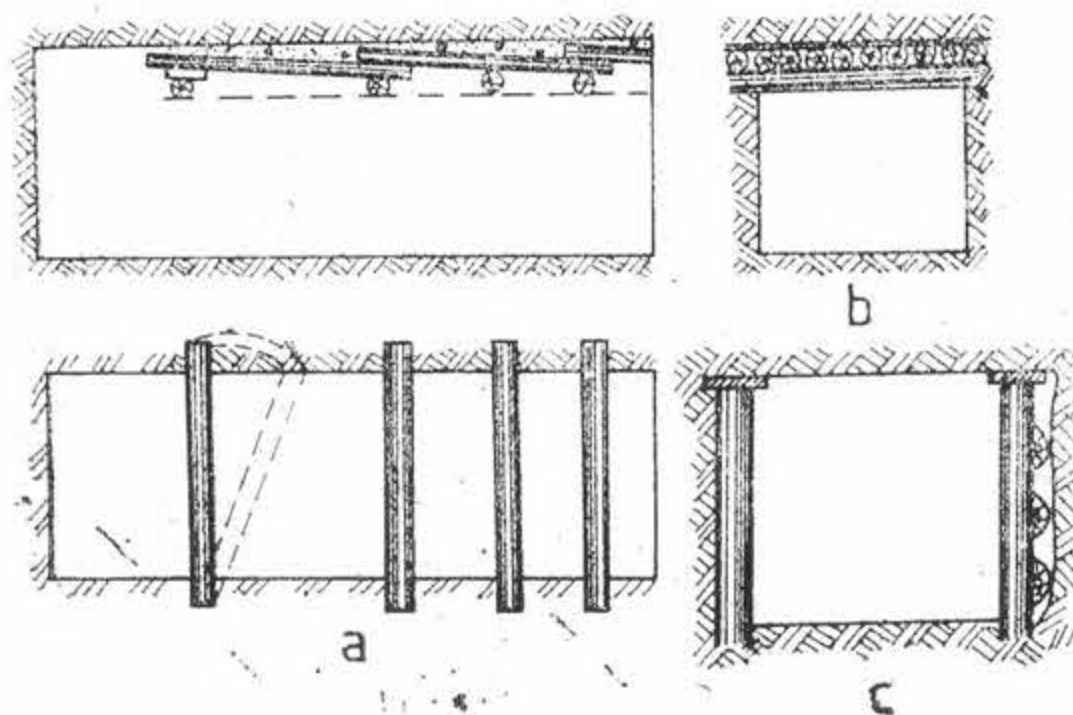


Fig. XI.38. Cadre incomplete: a și b — numai grinzi; c — numai stâlpi.

Cadrele descrise mai sus sînt *cadre rigide*, adică nu cedează decît foarte puțin la presiuni mari.

Pentru a evita distrugerea cadrelor în perioada de exercitare a presiunii primare, se construiesc *cadre elastice*. Acestea permit deformări mai mari ale profilului lucrării, fără a se distruge elementele cadrului, datorită ascuțirii mai pronunțate a capetelor stîlpilor.

Susținerea de zidărie a lucrărilor miniere de explorare se utilizează în cazul unor presiuni mari, care distrug susținerea în lemn.

Ca materiale pentru susținerea în zidărie se întrebunțează *piatra naturală cioplită* și *betonul (turnat sau sub formă de prefabricate)*.

— Pentru zidăria de piatră se folosesc pietre de construcții rezistente. În general se întrebunțează andezitul, granitul, bazaltul etc., și mai rar calcarul compact.

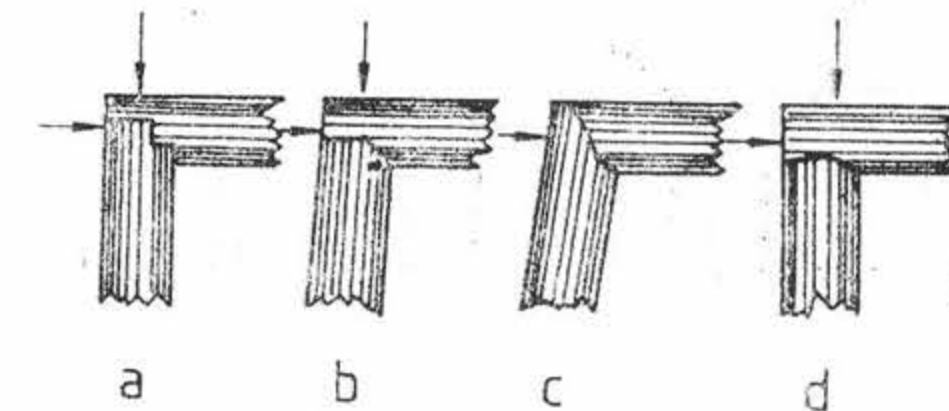


Fig. XI.39. Imbinarea între grinzi și stâlpi.

Blocurile de piatră se fasonază în carieră pentru a evita transporturile inutile și pentru că în carieră munca se poate organiza mai bine, realizîndu-se o productivitate mai ridicată decît în subteran. Blocurile pentru zidăria pereților se cioplesc în formă de paralelipiped, iar cele pentru boltă în formă de pană.

— Betonul este un amestec de ciment, pietriș, nisip și apă, în anumite proporții. Pietrișul și nisipul nu suferă nici o transformare chimică și au rolul de umplutură în masa betonului.

Rezistența la compresiune a betonului (marca) depinde în primul rînd de cantitatea de ciment introdusă la 1 m³ de beton și de cantitatea de apă liberă neabsorbită a materialului inert.

Această rezistență (R_B) se calculează cu formula:

$$R_B = 0,5 R_c \left(\frac{c}{a} - 0,5 \right) \text{ [daN/cm}^2\text{]},$$

în care: R_c este rezistența la compresiune a cimentului, daN/cm²;

c — cantitatea de ciment, kg;

a — cantitatea de apă liberă, l.

Calitatea betonului depinde și de nisipul și pietrișul folosit. Cel mai bun nisip este cel cuarțos, cu grăunți de 0,15—0,5 mm diametru. Este bine ca pietrișul să aibă muchii și colțuri neregulate, cum este cel provenit prin concasare.

Cantitatea de apă necesară variază între 78 și 85 l apă/m³ pentru beton uscat și 90—120 l apă/m³ pentru beton plastic.

— Blocurile de beton prefabricate, denumite *betonite* sau *boltari*, se întrebunțează pe scară din ce în ce mai largă, prezentînd o serie de avantaje importante: se fabrică la suprafață, zidirea este simplă și se poate realiza repede. În majoritatea cazurilor, blocurile de beton au formă de pană simplă. Se construiesc însă și betonite cu forme speciale.

Betonitele se fabrică din beton de diferite mărci, după mărimea presiunilor. În unele cazuri se folosesc blocuri de beton armat.

Susținerea metalică a galeriilor de explorare se folosește în cazul unei durate de serviciu mai mare a lucrării miniere, atunci cînd presiunea este și ea mai mare. Deși necesită cheltuieli inițiale mai mari, susținerea metalică are multe avantaje în

comparație cu alte moduri de susținere, și în special față de susținerea în lemn: ocupă spațiu mic, nu arde, are durată mare de serviciu, se poate recupera etc.

După modul de comportare la presiuni a susținerii metalice se disting susțineri *rigide, semirigide, elastice*.

Ca formă, sistemele au evoluat, folosindu-se la început cadre metalice rigide trapezoidale, după care s-a introdus susținerea cu cadre metalice în arc sau susținere cu cindre metalice.

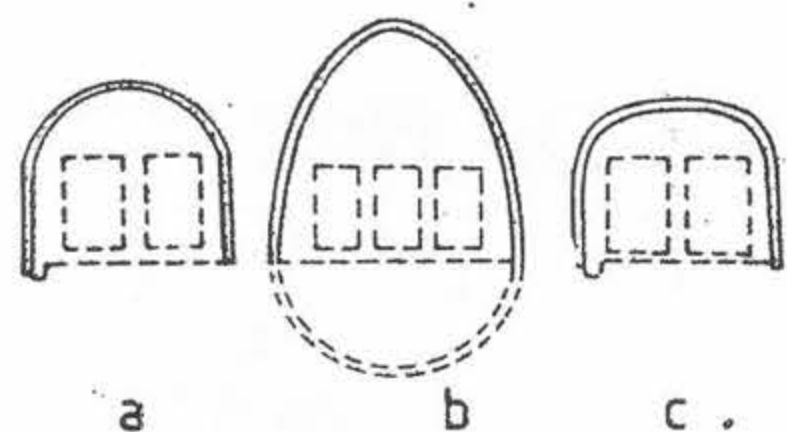


Fig. XI.40. Cindre rigide:
a — în arc de cerc; b — în ogivă; c — în boltă de mică înălțime elastică

Susținerea cu *cindre metalice* a înlocuit aproape complet susținerea cu cadre trapezoidale.

O cintră metalică este formată din mai multe elemente asamblate între ele prin dispozitive speciale, alcătuind astfel un cadru de susținere în formă de arc. Pentru presiuni normale și uniform repartizate, forma ideală o constituie cintră circulară închisă.

La susținerea cu cindre metalice, modul de susținere poate să fie *rigid*, folosind cindre rigide, sau *elasic*, folosind cindre culisante.

— *Susținerea cu cindre rigide*. În galeriile sau planele înclinate în care nu sînt mișcări de terenuri, susținerea sub formă de arc, formată din cindre rigide (fig. XI.40) care sub influența presiunii rocilor nu își modifică forma, rezistă mult mai bine decît un cadru metalic trapezoidal.

Elementele unei cindre rigide se construiesc din șine vechi sau din profile de oțel dublu T. Șinele vechi se așază cu coroana în afară, astfel ca talpa șinelor să susțină bandajele. Îmbinarea se face cu eclise și cu șuruburi. Pentru secțiuni mici de galerie se adoptă cindre formate din două elemente îmbinate la partea de sus a boltii. Pentru secțiuni mari, elementele cindreii sînt de lungimi aproape egale. Pentru asigurarea stabilității susținerii, între cadrele metalice se bat *strîngători* orizontale de lemn rotund de stejar și, în unele cazuri, cindrele se reunesc prin bucăți de oțel rotund (oțel beton) sudate, formînd astfel un grilaj care susține bandajele dintre pereții galeriei și cadrele metalice.

— *Susținerea cu cadre culisante*. Cindrele culisante (fig. XI.41) asigură o susținere metalică elastică, adică o susținere care permite, sub influența presiunii rocilor să se modifice dimensiunile secțiunii transversale a lucrării miniere și o deformare a elementelor pînă la o anumită limită, fără ca cindrele să-și piardă capacitatea lor portantă.

Pentru asigurarea elasticității se folosesc îmbinări între elemente care să permită o culisare a acestora. La majoritatea tipurilor, legătura culisantă se realizează prin îmbucarea a două elemente ale cindreii, solidarizate cu ajutorul unor brățări prevăzute cu șuruburi la capete (fig. XI.41, a).

O cintră simplă foarte răspîndită este tipul *Toussaint-Heintzmann* sau *TH*, cu legături culisante (fig. XI.42).

Cele mai folosite sînt profilele TH de 21 kg/m. Modul cel mai obișnuit de cintră culisantă TH este cel în potcoavă, compus din trei bucăți: o coroană la partea superioară și două picioare laterale, care se petrec peste coroană cu 40 cm. În cazul umflării vetrei se folosește cintră circulară compusă din patru bucăți, adăugîndu-se o talpă cu legături identice. În cazuri rare se folosesc și cindre formate din cinci elemente. Susținerea cu cadre metalice inelare cu patru sau cinci elemente se folosește, în general, atunci cînd există presiuni mari în toate direcțiile.

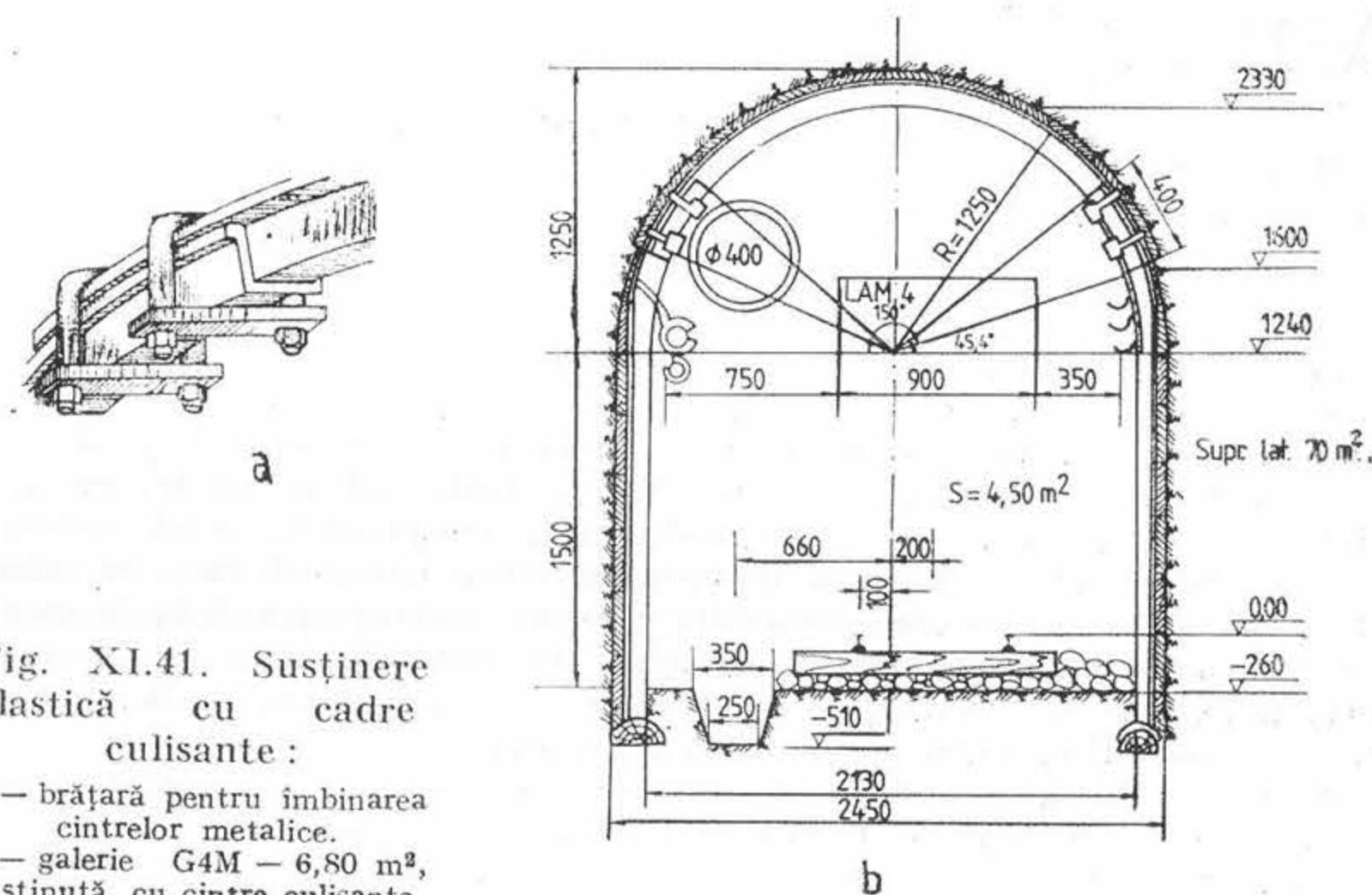


Fig. XI.41. Susținere elastică cu cadre culisante:
a — brățară pentru îmbinarea cindrelor metalice.
b — galerie G4M — 6,80 m², susținută cu cindre culisante.

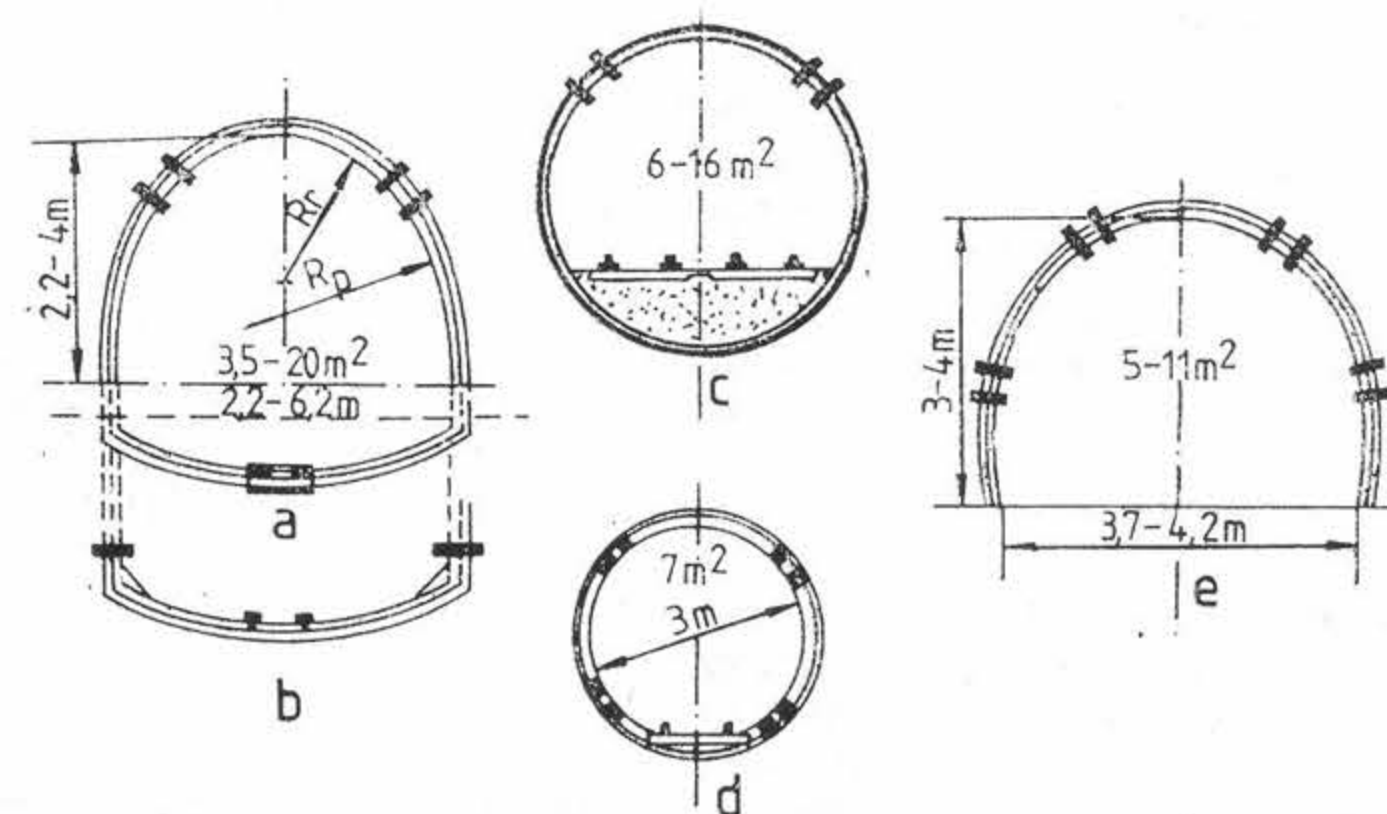


Fig. XI.42. Cindre Toussaint — Heintzmann:
a — cu talpă articulată; b — cu talpă incastrată; c — circulare pentru cale dublă; d — circulare pentru cale simplă; e — din cinci elemente.

Susținerea ancorată. În ultimii ani se mai aplică și susținerea ancorată, la susținerea tavanului și pereților galeriilor.

Metoda constă în forarea unor găuri de mină în tavan, în care se introduc tije metalice ce se fixează în fundul găurii cu ajutorul unor dispozitive, iar la capătul rămas afară se fixează o placă, cu ajutorul unei piulițe (fig. XI.43).

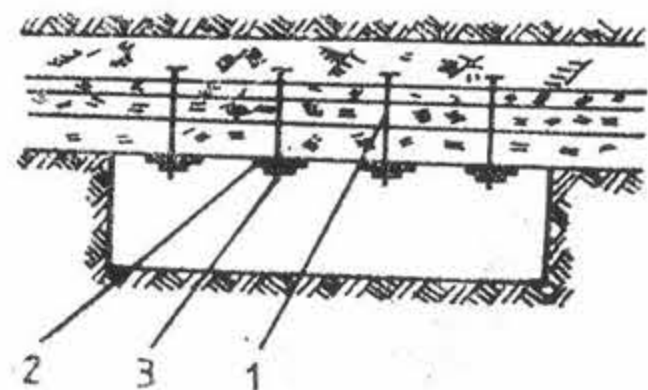


Fig. XI.43. Schema susținerii ancorate:
1 - tija ancorei; 2 - placă metalică; 3 - piuliță.

Dacă în tavan sînt roci stratificate care prezintă planuri de șistozitate de minimă rezistență, cînd nu sînt susținute, fiecare strat se încovoie (sub acțiunea greutății), relativ independent de cele de deasupra lui. Strîngînd cu ajutorul ancorelor întregul pachet de strate, acestea nu mai pot acționa independent, fapt care împiedică surparea tavanului. Lungimea tijelor de ancorare variază între 1,5 și 3,0 m. Pe galeriile cu durată lungă de utilizare se întrebuițuează *ancore recuperabile*, adică ancore a căror dispozitiv de fixare constă dintr-un manșon cu zimți exteriori, care își mărește diametrul prin înșurubarea ancorei prevăzute cu o porțiune tronconică; la deșurubarea tijei aceasta rămîne fixată în gaura de mină. Pentru realizarea unei susțineri mai rezistente, pe pereții și tavanul lucrărilor miniere se poate aplica o plasă de sîrmă, simplă sau dublă, care se fixează cu ancore.

Torcretarea constă în depunerea unui strat de beton de 5–30 mm, pe pereții și tavanul galeriilor sau ale altor lucrări miniere. Se efectuează cu ajutorul unor mașini speciale care sînt acționate cu aer comprimat, la o presiune de 2–3,5 daN/cm².

Mașina se alimentează cu un amestec uscat de nisip și ciment, care se omogenizează și apoi este împins, cu ajutorul aerului comprimat, printr-o conductă de refulare, pînă la injectorul de beton. Aici se amestecă cu apă și este proiectat cu o viteză de 130–170 m/s.

Dozajul obișnuit este: 1 parte ciment și 3 părți nisip uscat (4–8% umiditate) și clasat la 5–7 mm, iar apa se adaugă în proporție de 10–20% din greutatea amestecului. Apa trebuie să aibă o presiune mai mare decît a aerului comprimat cu 0,75–1 daN/cm².

Betonul obținut prin torcretare, din cauza vitezei de proiectare, este compact și are o rezistență de compresiune de aproape două ori mai mare decît a betonului obișnuit. Acest beton aderă bine la zidărie veche, la beton vechi, la piatră și chiar la lemn.

În interiorul galeriei se montează calea ferată, conductele de aer comprimat și cablul electric.

Săparea galeriilor de explorare cu metode speciale. În roci dezagregate nestabile, curgătoare etc., săparea galeriilor se face prin metode speciale. În funcție de natura rocilor se aplică următoarele metode speciale:

Metoda de săpare cu palplanșe. Aceasta constă în baterea din aproape în aproape a unor palplanșe (frigări) între grinda ultimului cadru de susținere spre tavan și lateral. Palplanșele se bat unele lîngă altele și formează astfel o căptușeală protectoare la tavan și pereți. Pe măsură ce se bat palplanșele se evacuează și roca din frontul de lucru (fig. XI.44).

Metoda de săpare cu scut. Se aplică în cazul rocilor curgătoare, cînd apare necesitatea susținerii integrale a profilului galeriei: la tavan, pereți, vatră și în front. În felul acesta susținerea folosită are forma unui scut. Pentru extragerea rocii, în scut se fac ferestre care permit curgerea acesteia (fig. XI.45).

Metoda de săpare cu picotaj. Această metodă se aplică la trecerea prin roci curgătoare și acvifere, utilizînd picoți de lemn care se bat înainte în masa rocilor

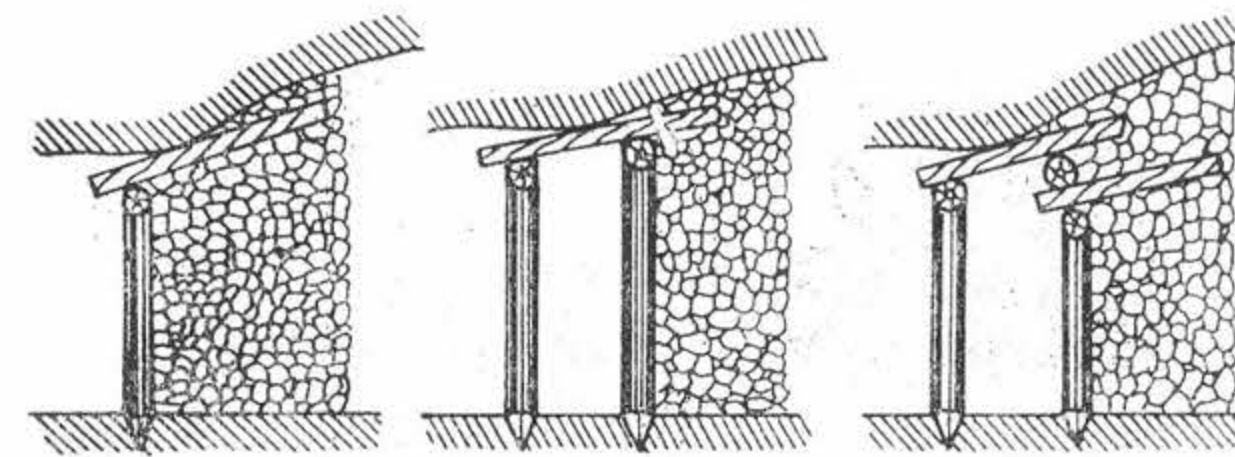


Fig. XI.44. Înaintarea cu palplanșe (faze succesive).

curgătoare (în frontul de lucru și în vatră), asigurîndu-se astfel consolidarea acestora. Printre picoți, care se bat unul lîngă altul pe toată suprafața frontului, se scurg apa și bucățile mai mici de rocă (fig. XI.46).

Documentarea geologică a galeriilor de explorare reprezintă obiectivul principal pentru care acestea se execută. Ca atare, acestei operații trebuie să i se acorde o importanță deosebită.

La documentarea geologică a galeriilor de explorare trebuie urmărite patru etape, după cum urmează:

- ridicarea topografică;
- cartarea geologică;
- stabilirea elementelor spațiale ale corpului de substanțe minerale utile;
- prelevarea probelor.

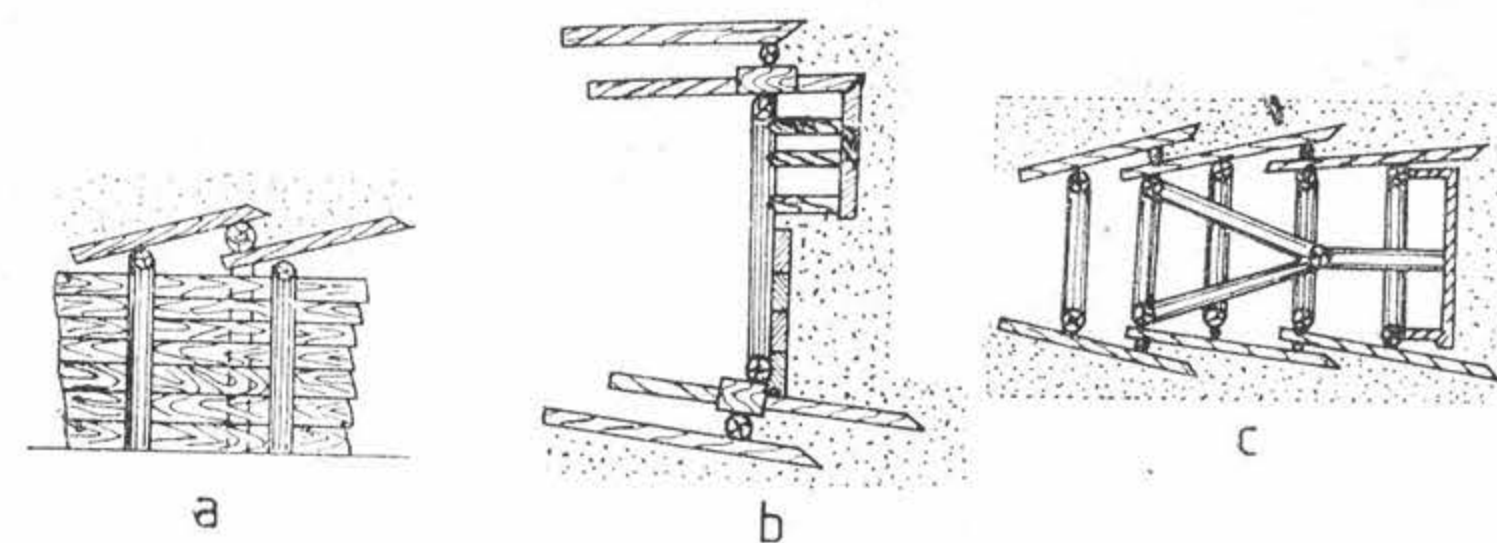


Fig. XI.45. Înaintarea cu scut de lemn:

a - peretele galeriei; b - secțiune verticală în front; c - vatra galeriei

Ridicarea topografică a galeriilor presupune efectuarea măsurătorilor topografice și reprezentarea acestora la scară pe plane și hărți.

Cartarea geologică reprezintă una din operațiile de bază ale documentării geologice și cuprinde două faze distincte: *cartarea desfășurată* și *descrierea desfășurată*.

Cartarea desfășurată se execută pe carnetul de teren, în galerie, după fiecare ciclu de înaintare, înainte de susținerea definitivă. Pe hîrtie milimetrică se desenează la scară: pereții, vatra, tavanul și frontul, sau numai (de regulă) pereții, tavanul și frontul (forma cea mai des înălțată în explorare).

Scările de cartare sînt 1:50; 1:100; 1:200 și mai rar 1:300, iar alegerea uneia sau a alteia se face în funcție de detaliile de trecut pe desfășurată.

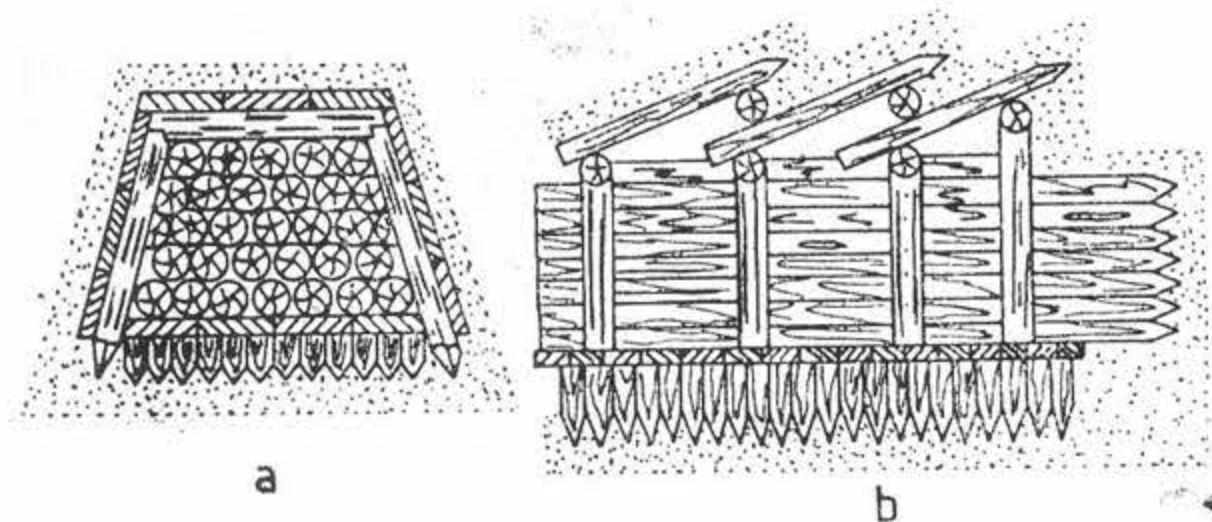


Fig. XI.46. Înaintarea cu picoți:

a — secțiune transversală; b — secțiune verticală longitudinală.

Înainte de începerea cartării propriu-zise se face o trecere în revistă a porțiunii de cartat, stabilindu-se detaliile ce se vor menționa pe desfășurată (ținându-se seama și de cartările anterioare) și totodată se face și marcarea metrajului pe unul din pereții galeriei.

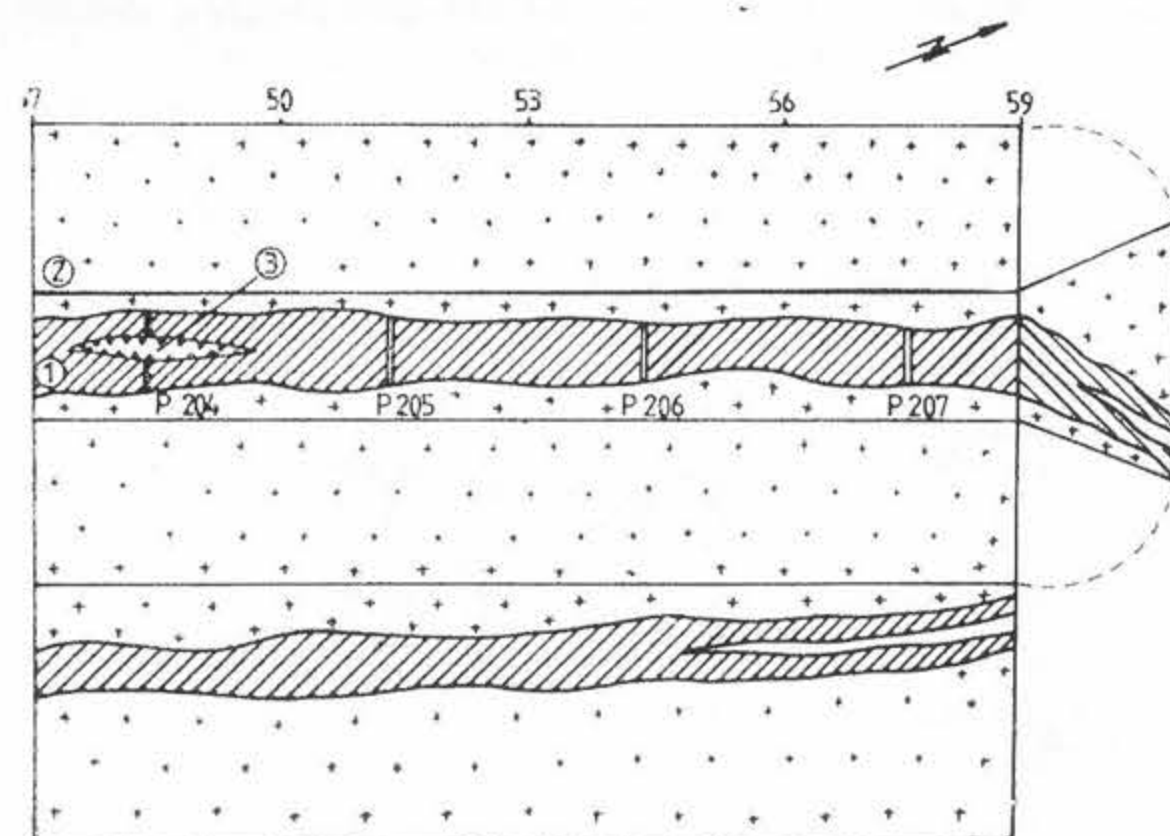


Fig. XI.47. Cartarea desfășurată a unei porțiuni de galerie direcțională:

1 — mineralizație filoniană; 2 — andezit alterat hidrotermal; 3 — geodă; P205 ... P207 — locurile de prelevare a probelor chimice prin metoda brazdelor.

Pe desfășurată se trec aceleași elemente ca și în cazul șanțurilor, tranșeelor și puțurilor de mină, cu mențiunea că se va insista pe elementele de poziție (direcție și înclinare) ale corpului de substanță minerală utilă și faliilor, care se vor menționa și ele pe desfășurată. Detaliile în acest caz sînt mult mai numeroase, făcîndu-se la următoarele scări: 1:10; 1:5; 1:2 sau chiar 1:1 și pot cuprinde texturi sau moduri de prezentare a mineralizațiilor (raporturi între minerale metalice, între minerale metalice și cele de gangă sau între mineralizație și roca înconjurătoare). Toate detaliile se vor figura pe desfășurată (fig. XI.47).

În practica geologică se mai obișnuiește să se facă și observații în planul de orizont (cartare în planul de orizont, fig. XI.48), dar de cele mai multe ori galeriile trebuie susținute imediat, lucru ce nu mai permite efectuarea observațiilor, și din acest motiv, se recomandă cartarea desfășurată imediat după un ciclu de înaintare și întocmirea planelor de orizont pe baza acestor cartări.

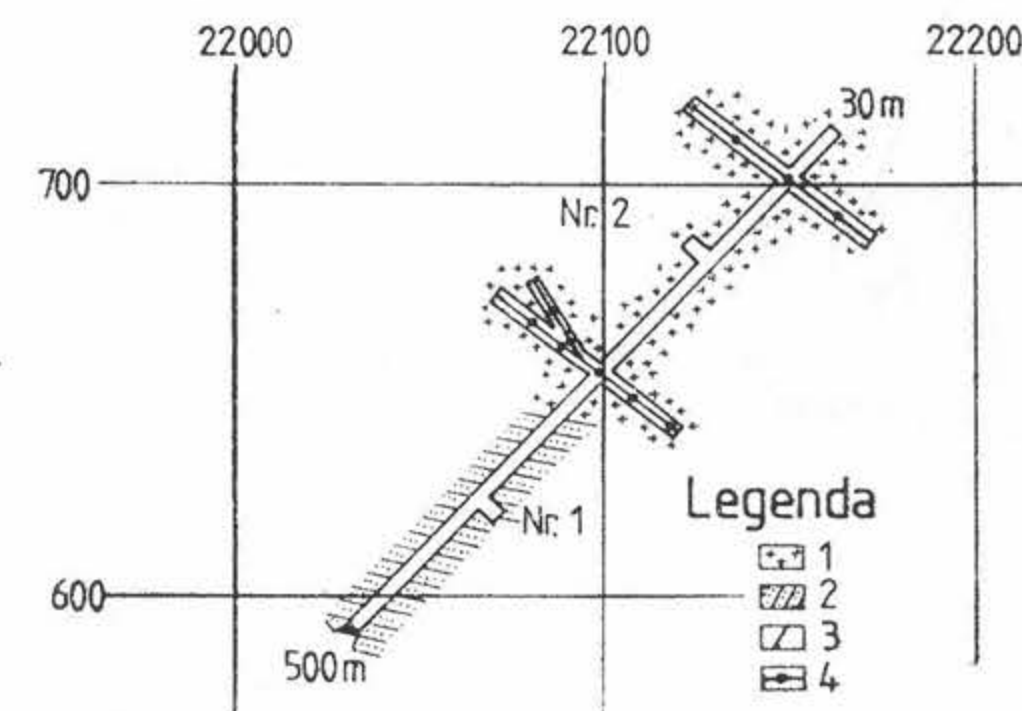


Fig. XI.48. Plan geologic de orizont.

Descrierea desfășurății se face în același mod ca și la tipurile de lucrări prezentate anterior, insistîndu-se foarte mult pe:

- forma de prezentare a mineralizației;
- elementele structurale;
- gradul de fisurare;
- tipurile de mineralizație;
- tipurile de alterări;
- relațiile dintre corp și rocile înconjurătoare;
- fenomenele hidrogeologice;
- locul de probare și modul de probare;
- descrierea macroscopică a detaliilor etc.

Avînd în vedere, uneori, necesitatea susținerii totale a porțiunii de galerie executată, atît pe desfășurată, cît și la descriere se trec toate detaliile care pot fi observate, chiar dacă unele se trec cu semn de întrebare (cele pentru care nu există un grad prea mare de siguranță).

Stabilirea elementelor spațiale ale corpului de substanță minerală utilă. Elementele spațiale ale corpului de substanță minerală utilă au foarte mare importanță atît în ce privește orientarea lucrărilor ulterioare, cît și ca parametri de calcul al rezervelor (grosimea).

Direcția și înclinarea se măsoară în funcție de tipul de galerie, mai precis de poziția galeriei față de corpul de substanțe minerale utile, astfel:

— În galerie direcțională măsurătorile se pot face cu *busola geologică* (direct pe suprafața corpului, aproximînd suprafața sau folosind *dispozitivul în cruce*) sau cu *busola suspendată* (se măsoară azimutul direcției). Pentru măsurătoare se întinde o sfoară în tavanul galeriei direcționale, între două puncte de pe aceeași față a corpului (dacă nu este posibil se aproximează această față), de care se suspendă busola cu zero reper în sensul căderii planului de măsurat, după care se face citirea la acul nordic al busolei (azimutul căderii stratului). Pentru determinarea înclinării, cînd nu poate fi

folosit clinometrul de la busola obișnuită, se folosește eclimetrul cu brațe de suspendare care se prinde de o sfoară — ce unește două puncte — unul din tavanul galeriei, iar celălalt din vatra galeriei, cu mențiunea că aceste două puncte să fie localizate în același plan al corpului de substanță minerală utilă, după care se face citirea directă.

— În galerie transversală măsurarea elementelor de poziție se poate face tot cu busola obișnuită, pe fața de strat, sau folosind *dispozitivul în cruce*, sau cu busola suspendată și eclimetrul, cu mențiunea ca măsurătorile să se execute pentru același plan al corpului.

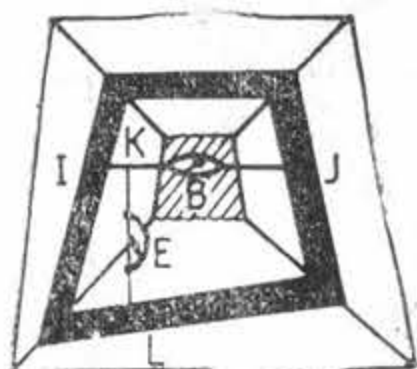


Fig. XI.49. Modul de materializare a planului de măsurare a direcției și înclinării corpului de substanță minerală utilă (filon, strat, lentilă) intersectat de o galerie.

Busola suspendată se folosește după ce se materializează linia rezultată din intersecția planului de măsurare a corpului cu planul orizontal, printr-o sfoară IJ (fig. XI.49), de care se suspendă busola B cu zero reper în sensul căderii planului și efectuându-se citirea azimutului căderii la acul nordic. Pentru măsurarea înclinării, de sfoara IJ se prinde o a doua sfoară KL (care trebuie să reprezinte, linia de cea mai mare pantă a planului) de care se suspendă eclimetrul E , efectuându-se citirea directă.

— În galerie oblică direcția și înclinarea se pot obține prin măsurători cu busola suspendată și eclimetrul, aplicate ca în cazul de mai sus, după ce linia IJ se materializează prin două jaloane (unite printr-o sfoară) în planul de măsurare a corpului. Direcția și înclinarea se mai pot determina și prin construcții grafice (metoda proiecției cotate), când nu se poate efectua măsurarea directă.

Grosimea normală (g_n) a corpului de substanță minerală utilă se poate măsura direct, în cazul în care aceasta se încadrează pe:

- frontul galeriei (galerie direcțională);
- peretele galeriei (galerie transversală);
- în vatră sau tavan (galerie oblică).

Pentru situațiile în care grosimea normală nu se încadrează pe unul din elementele galeriei, aceasta se determină în funcție de grosimea orizontală (g_o) și înclinarea corpului (α), după cum urmează:

- galerie direcțională (fig. XI.50, a):

$$g_n = g_o \sin \alpha$$

- galerie transversală (fig. XI.50, b):

$$g_n = g_o \sin \alpha$$

- galerie oblică (fig. XI.50, c):

$$g_n = g_o \sin \beta = g'_o \sin \alpha \sin \beta;$$

$$g'_o = g_o \sin \alpha;$$

$$\beta^\circ = \delta_2^\circ - \delta_1^\circ;$$

unde: δ_1° — reprezintă azimutul direcției galeriei;
 δ_2° — azimutul direcției zăcămintului;
 g'_o — grosimea aparentă orizontală;
 α — înclinarea zăcămintului.

Recoltarea probelor este o operație foarte importantă în cadrul documentării geologice. Se recoltează probe mineralogice, probe pentru determinări chimice, fizice și probe tehnologice.

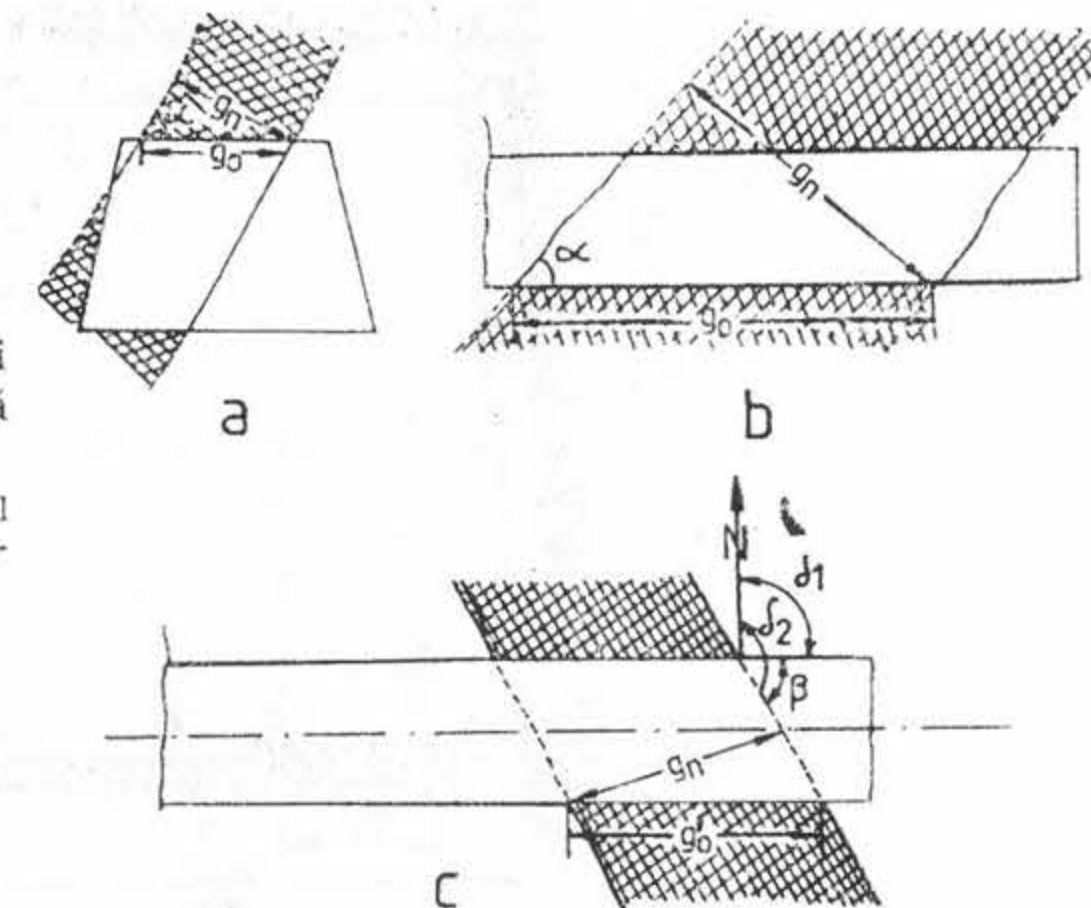


Fig. XI.50. Determinarea grosimii normale a corpului de substanță minerală utilă:

a — în cazul unei galerii direcționale; b — în cazul unei galerii transversale; c — în cazul unei galerii oblice.

Având în vedere importanța parametrilor care se obțin în urma probării substanței minerale utile, trebuie respectate toate condițiile unei probări cât mai reprezentative, condiții și metodologii prezentate în detaliu la Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile.

2.2.5. PLANE ÎNCLINATE DE EXPLORARE

Planele înclinate sînt lucrări miniere cu o înclinare mai mică de 30° , săpate de sus în jos (descendent).

Obiective urmărite. Se folosesc la explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile înclinate sub 30° , care apar la zi.

Planele înclinate se folosesc pe scară mare în explorarea zăcămintelor de cărbuni și mai puțin în explorarea zăcămintelor de minereuri. Ele reprezintă avantajul că sînt mai ieftine decît puțurile verticale și mai ușor de executat.

Amplasamentul planelor înclinate de explorare. Planele înclinate de explorare se sapă de regulă în zăcămint; cînd zăcămintul este înclinat și aflurează, planul înclinat se sapă pe înclinarea lui, avînd vatra planului pe culcuș.

Forma și dimensiunile planelor înclinate de explorare. La dimensionarea planelor înclinate se ține seama, în general, de aceeași factori ca și la puțurile verticale.

Planele înclinate de explorare au secțiunile tipizate de: $5,20 \text{ m}^2$, $6,70 \text{ m}^2$, $8,00 \text{ m}^2$, $10,20 \text{ m}^2$ (v. tabelul XI.2) și se susțin în beton torcretat, în lemn (fig. XI.51), în metal (fig. XI.52) sau în beton monolit. Profilul acestora poate fi trapezoidal, sub formă de boltă sau circular, avînd două compartimente — unul pentru transport și celălalt pentru circulația personalului. Lungimea planelor înclinate se măsoară pe înclinare.

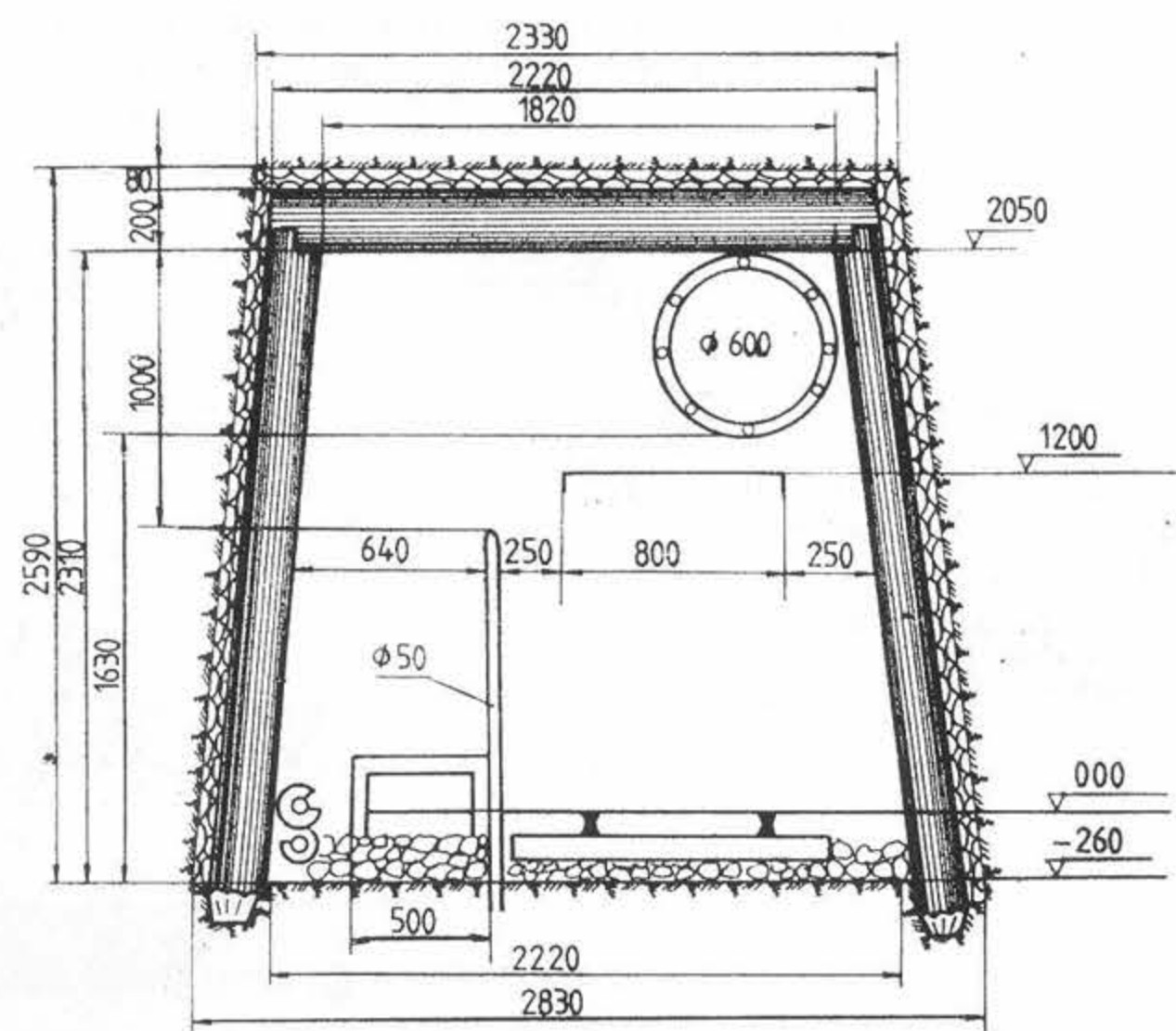


Fig. XI.51. Plan înclinat PL1L — 6,70 m², cu profil trapezoidal, susținut în lemn.

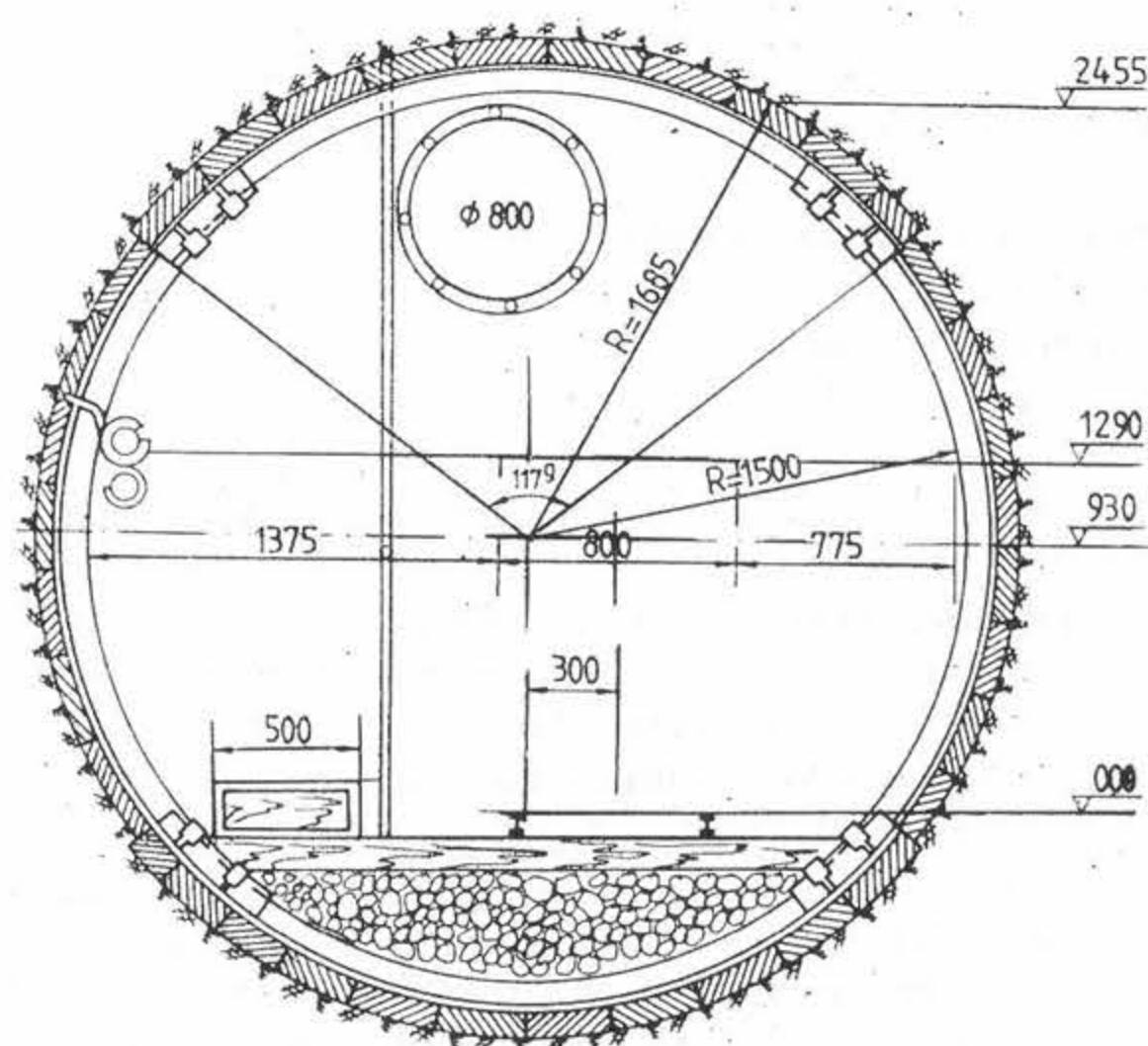


Fig. XI.52. Plan înclinat PL2Mc — 9,00 m², cu profil circular și susținere metalică.

Săparea și susținerea planelor înclinate. Săparea planelor înclinate este determinată în special de infiltrațiile de apă.

Explorarea începută prin plane înclinate se combină cu galerii direcționale săpate din planul înclinat.

Totdeauna când zăcămintul prezintă condiții favorabile pentru explorarea prin lucrări miniere, se examinează în prealabil dacă substanța minerală utilă este mai moale sau mai tare decât rocile înconjurătoare. Când zăcămintul este mai moale se recomandă planul înclinat, deoarece este mai economic, iar în caz contrar, când zăcămintul este mai tare, la aceleași condiții de zăcămint este preferabil puțul vertical.

Săparea planelor înclinate se face de sus în jos, în cazul explorării inițiale a unui zăcămint sau în cazul deschiderii unui nou orizont. Dacă planul înclinat servește ca lucrare de legătură între un orizont inferior deja deschis și un orizont superior, se obișnuiește, în cele mai multe cazuri, săparea de jos în sus, deoarece acest procedeu este mai economic (roca tăiată poate fi evacuată din front mai ușor).

Metodele de săpare de sus în jos a planurilor înclinate sînt asemănătoare cu metodele de săpare a galeriilor. Tăierea se face cu explozivi sau cu ciocane de abataj etc.

Susținerea planelor înclinate este asemănătoare cu cea a galeriilor.

Documentarea geologică și probarea formațiunilor din planele înclinate de explorare se fac la fel ca și la galerii.

2.2.6. SUITORI DE EXPLORARE ȘI COBORÎTORI

După străpungerea unui zăcămint prin galerii transversale sau puțuri și după urmărirea lui prin galerii direcționale, acesta trebuie cercetat pe verticală, cu ajutorul unor lucrări miniere verticale sau ușor înclinate față de verticală (în funcție de înclinarea zăcămintului), cu secțiunea mai mică decât a puțurilor, numite *suitori*.

Obiective urmărite. Prin suitori se cercetează continuitatea pe verticală a zăcămintului, variațiile mineralizației pe verticală, se stabilește zona optimă de mineralizare și zăcămintul este compartimentat în panouri, în vederea determinării rezervelor de categorii superioare (fig. XI.53).

În afară de rolul pe care îl au suitorii în conturarea și determinarea calitativă a zăcămintului pe verticală, ele asigură aerajul în subteran, făcînd posibilă stabilirea unui circuit de aer care spală fronturile de lucru.

Forma și dimensiunile suitorilor de explorare. La alegerea profilului suitorilor se ține seama de caracteristicile zăcămintului, de natura rocilor și de scopul urmărit. Totdeauna suitorii de explorare au două compartimente, înlesnind săparea și mărind securitatea muncii, atît în timpul executării lucrării cît și ulterior (fig. XI.54—XI.56).

Cînd suitorii de explorare vor servi și viitoarei exploatarei, se pot prevedea trei compartimente. Ca și lucrările orizontale, suitorii pot fi susținute sau nesusținute. Ele au profile de formă dreptunghiulară sau circulară a căror secțiune, după condițiile de lucru și scopul urmărit, poate fi de 3,20 m² (fig. XI.54), 5,10 m² (fig. XI.55) și 6,70 m² (v. tabelul XI.2). Lungimea lor este de 30—100 m, măsurată pe înclinarea zăcămintului.

Săparea și susținerea suitorilor de explorare. Suitorii se sapă, de regulă, în zăcămint. În cazul zăcămintelor înclinate, suitorii se sapă pe înclinare, urmărindu-se încadrarea zăcămintului în pereții suitorii.

Cu toate avantajele pe care le oferă forajul, în explorare trebuie să se țină seama de condițiile locale și cele specifice fiecărui zăcămint, examinându-se oportunitatea folosirii lucrărilor miniere sau de foraj sau o combinație a acestora.

Factorii de bază care determină, în general, alegerea metodei de explorare sînt:

- forma zăcămintului, mărimea și particularitățile sale tectonice;
- caracterul repartiției mineralelor utile și a celor dăunătoare în corpurile mineralizate.

Există unele zăcămintele la care forma și extinderea în adîncime se pot cerceta atît din punct de vedere economic cît și tehnic, prin lucrări miniere, iar altele unde este indicată de la prima vedere folosirea forajelor, cum este cazul zăcămintelor situate la adîncime mare în scoarță sau a zăcămintelor de dezvoltare foarte mare și conținut uniform.

Un rol hotărîtor în alegerea genului de lucrări și în amplasarea acestora îl constituie caracterul mineralizației și în special modul uniform sau neuniform de repartiție a componentului util în masa mineralizată. În majoritatea cazurilor, zăcămintele se disting prin repartiție neuniformă, iar explorarea acestora numai prin lucrări de foraj ar conduce la cheltuieli foarte mari datorită numărului mare de foraje necesare stabilirii mărimii zăcămintului și variației conținutului în component util. Pe de altă parte nici gradul de precizie al rezultatelor nu poate fi atins în mod corespunzător.

Cu totul alta este situația zăcămintelor mari și cu conținut uniform.

Rezultă deci că sînt cazuri în care este indicat să se facă explorarea exclusiv prin lucrări miniere, cum sînt zăcămintele cu formă complicată, cu întindere relativ redusă și cu conținut foarte variabil în component util. La fel există situații cînd se recomandă explorarea exclusiv prin foraje, așa cum s-a mai arătat, în cazul zăcămintelor situate la mare adîncime sau al zăcămintelor de mare amploare și cu conținut uniform.

În majoritatea cazurilor însă este nevoie să se folosească explorarea mixtă, prin combinarea lucrărilor miniere cu cele de foraje, iar preponderența unuia din genul de lucrări depinde de la zăcămint la zăcămint. În folosirea combinată a lucrărilor, execuția acestora poate fi organizată astfel ca ea să fie realizată:

- simultan (sau în paralel), cînd zăcămintul este atacat atît prin lucrări miniere cît și prin foraje;
- succesiv, cînd forajul se aplică pe baza rezultatelor obținute în prealabil de lucrările miniere de explorare și invers;
- paralel-succesiv, care reprezintă procedeul cel mai obișnuit.

Afară de avantaje, forajul de explorare are și unele dezavantaje. În cursul executării forajului, realizarea unui procent ridicat de recuperare a carotei, ea și menținerea normală a noroiului de foraj sînt în unele cazuri extrem de dificile, iar uneori chiar imposibile. Astfel, existența unui acoperiș faliat sau a zăcămintelor fisurate și dislocate creează condiții grele de lucru și scumpesc enorm lucrarea prin măsurile speciale de izolare ce se impun (tubarea, cimentarea).

Pe de altă parte, realizarea unei probări corecte conduce în multe cazuri la reducerea randamentului săpării și la ridicarea costului acesteia.

În afara criteriilor privind costul lucrărilor și durata de execuție, lucrările de explorare miniere și de foraj mai trebuie apreciate comparativ și sub aspectul preciziei rezultatelor și al riscului. Din punctul de vedere al rezultatelor, utilizarea lucrărilor miniere este superioară lucrărilor de foraj, datorită posibilității contactului direct cu formațiunile geologice. De asemenea, lucrările de foraj sînt mai riscante, fie datorită condițiilor de zăcămint (falieri, efilări, cutări ale zăcămintului etc.), care fac ca rezul-

tatele forajelor să fie negative sau neconcludente, fie datorită tehnicii de foraj (devieri, recuperaj necorespunzător etc.), care fac ca lucrările să nu-și atingă obiectivul urmărit (v. fig. XI.101).

Din analiza condițiilor de aplicare a lucrărilor de foraj în explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile și a criteriilor de comparație a acestora cu lucrările miniere, se pot trage următoarele concluzii:

— există situații în care unica posibilitate de investigație în domeniul cercetărilor geologice și a explorării zăcămintelor de substanțe minerale utile o prezintă lucrările de foraj;

— în faza de explorare, metoda cea mai indicată este folosirea combinată a lucrărilor miniere și de foraj;

— justificarea economică a duratei de execuție a lucrărilor trebuie să fie făcută luîndu-se în considerație întregul ansamblu de lucrări necesare explorării integrale și perioada necesară pînă la darea în exploatare a zăcămintului;

— deși gradul de precizie al rezultatelor obținute prin lucrările de foraj este inferior preciziei datelor din lucrările miniere de explorare, totuși acestea dau posibilitatea obținerii de rezultate concludente asupra mineralizației și a potențialului zăcămintului, ceea ce permite să se facă previziuni de timp asupra lucrărilor de viitor;

— prin problemele de execuție și de organizare mai simple, pe care le ridică activitatea forajului de explorare, există întotdeauna posibilitatea de a face investigații și a obține date mult mai devreme în cele mai variate și mai grele condiții naturale și de zăcămint.

3.2. DATE GENERALE ASUPRA FORAJULUI

Forajul constă în executarea în scoarță a unei deschideri cilindrice caracterizată prin lungime mare în comparație cu secțiunea sa, numită *gaură de sondă*.

În procesul tehnologic de foraj, indiferent de scopul urmărit și utilajul folosit, se disting operații de bază și operații accesorii.

Operațiile de bază ale forajului sînt:

- forajul propriu-zis sau dislocarea rocii;
- spălarea găurii de sondă de sfărîmăturile rezultate în urma săpării;
- introducerea și extragerea garniturii de foraj (operații de manevră).

Operațiile auxiliare sînt:

- consolidarea pereților găurii de sondă sau tubajul, care se face cu ajutorul coloanei de tubaj, constituită din burlane de oțel;
- izolarea apelor sau cimentarea, în regiunile în care se forează, printre stratele străbătute existînd și strate acvifere, care trebuie izolate;
- instrumentațiile sau operațiile de rezolvare a accidentelor provenite din diverse cauze în timpul forajului.

Clasificarea forajului. După scopul pe care-l urmăresc, lucrările de foraj se pot clasifica în: foraj de prospecțiune; foraj de referință; foraj de explorare; foraj de exploatare; foraj pentru cercetări geotehnice; foraj hidrogeologic.

Forajul de prospecțiune servește la executarea găurilor de sondă necesare prospecțiunii geofizice, în special prospecțiunilor seismice.

Forajul de referință urmărește determinarea structurii geologice a unei regiuni.

Forajul de explorare se execută în regiunile în care prospecțiunile au dat indicații asupra existenței zăcămintelor de substanțe minerale utile.

Forajul de exploatare servește pentru exploatarea zăcămintelor de gaze, fitci, sare sau în alte scopuri (aeraj, rambleiere etc.).

Forajul pentru cercetări geotehnice servește la determinarea naturii terenurilor în vederea amplasării construcțiilor industriale, a lucrărilor edilitare, barajelor, tunelurilor etc.

Forajul hidrogeologic se execută în scopul efectuării cercetărilor pentru alimentări cu apă, studiilor hidrogeologice, asecărilor și altor lucrări similare.

După modul în care se efectuează operațiile de bază, se deosebesc: forajul percutant și forajul rotativ.

Forajul rotativ se caracterizează prin aceea că mișcarea de rotație a sapei se realizează prin intermediul garniturii de foraj acționată de masa rotativă sau de dispozitivul de rotire în cazul sondezelor. Curățirea găurii de sondă de detritus se face în mod continuu, prin noroiul de foraj, care intră prin prăjină, trece prin orificiile uneltei de săpat și iese la suprafață prin spațiul inelar dintre prăjină și pereții găurii de sondă.

Forajul rotativ, datorită avantajelor pe care le prezintă față de forajul percutant, a ajuns să-l înlocuiască complet pe acesta din urmă în forajul de explorare.

3.3. SĂPAREA GĂURII DE SONDĂ. SAPE ȘI CAROTIERE

Dislocarea rocii în procesul de foraj, în funcție de scopul urmărit, se poate realiza pe întreaga secțiune a găurii de sondă sau numai pe secțiune inelară. Dislocarea sau tăierea rocilor din talpa găurii de sondă se realizează prin pătrunderea uneltei tăietoare în rocă în mod alternativ, în cazul forajului percutant, sau prin pătrunderea și rotirea concomitentă a uneltei tăietoare (sapă, carotieră) în rocă, în cazul forajului rotativ.

Dislocarea rocii pe întreaga secțiune se face cu ajutorul sapei de foraj, iar dislocarea pe secțiune inelară se realizează cu ajutorul carotierelor.

3.3.1. SAPE FOLOSITE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

În forajul de explorare cu sondeze scopul fiind acela de a extrage cât mai multe probe de teren, sapele sunt utilizate numai în cazuri speciale, cum ar fi: începutul forajului, lărgirea găurilor de sondă, controlul și curățirea găurilor de sondă, săparea unei porțiuni în care nu este nevoie să se extragă probe, la săparea găurilor de sondă pentru hidrocarburi sau surse naturale de apă.

O utilizare largă au sapele în forajul cu sondeze pentru scopuri geotehnice și hidrogeologice, la stingerea unor focuri subterane sau la rambleierea golurilor rezultate în urma exploatarea, pentru găuri de control minier, pentru executarea șurtoarelor etc.

După modul de acționare pe talpa găurii de sondă pentru dislocarea rocii, se deosebesc: sape cu efect aschietor (sape cu lame); sape cu efect aschietor-despicător (sape cu role) și sape cu efect de roadere (sape cu diamante).

În forajul cu sondeze se utilizează următoarele tipuri de sape: sape cu lame (sapa cu trei lame), sape cu role și sape cu diamante, cu dimensiuni corespunzătoare pentru forajul cu sondeze.

Tabelul XI.3
Sape cu 3 lame (STAS 108-74)

Diametrul sapei, D_s			Diametrul nominal al filetului sapei cep sau mufă [mm]	Înălțimea sapei, H_s (informativă) [mm]	Masa sapei (informativă) [kg]	
Nominal	Abateri					
mm	in	in				
120,7	4 3/4		2 7/8 N	270	10	
123,8	4 7/8				11	
136,5	5 3/8		280	300	12	
142,9	5 5/8				13	
146,1	5 3/4		3 1/2 N	305	14	
149,2	5 7/8				20	
152,4	6				22	
155,6	6 1/8				23	
158,8	6 1/4		4 1/2 N	310	25	
161,9	6 3/8				30	
165,1	6 1/2				34	
168,3	6 5/8				38	
171,5	6 3/4			370	42	
184,2	7 1/4	+0,8			43	
187,3	7 3/8					
190,5	7 1/2					
193,7	7 7/8					
196,9	7 3/4					
200,0	7 7/8					
212,7	8 3/8					
215,9	8 1/2					
219,1	8 7/8					

În general, la alegerea tipului de sapă trebuie să se țină seama, în primul rând, de caracterul formațiunilor în care se sapă.

În funcție de natura rocilor în care se forează, sapele sunt armate cu diverse materiale (aliaje) dure și cu diamante.

a. **Sape cu lame.** În forajul cu sondeze este întâlnită frecvent sapa cu trei lame (fig. XI.58), folosită ca sapă specială pentru lărgirea găurii de sondă, frezarea carotelor rămase în gaura de sondă și a cimentului din coloană. Dimensiunile acestei sapei sunt date în tabelul XI.3.

Sape cu role. Se folosesc la forajul în roci tari și foarte tari. În timpul lucrului sapa se învîrtește și odată cu ea se învîrtesc și rolele care se rostogolesc pe talpa găurii de sondă. Dinții lovesc roca, o sfărîmă în bucăți, care sînt luate de curentul de noroi și aduse la suprafață. După modul de construcție al rolelor, dislocarea rocii pe talpa găurii de sondă se realizează ca urmare a acțiunii de așchiere și despicare produsă de rostogolirea pe talpa găurii de sondă și de tîrîre în același timp al rolelor.

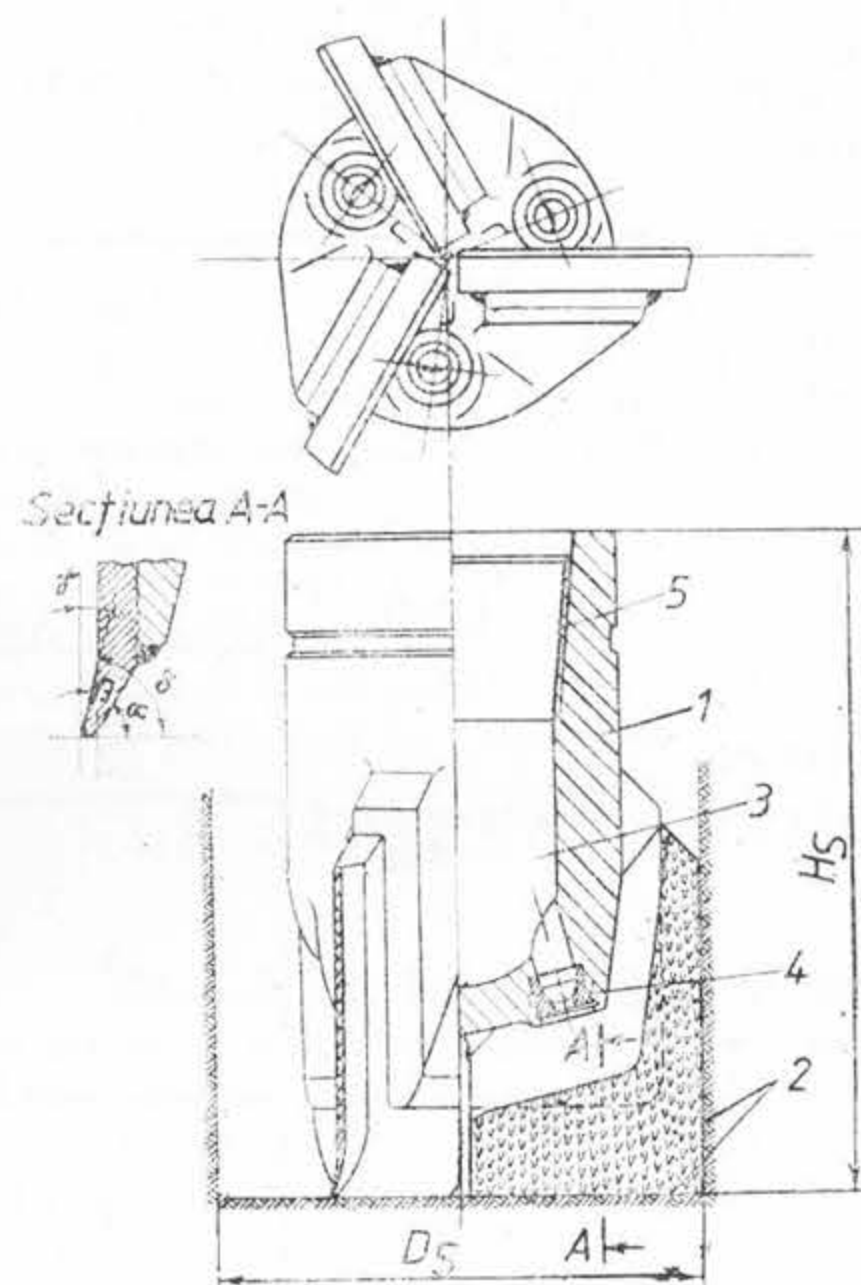


Fig. XI.58. Sapa cu trei lame:

1 — corp; 2 — muchii active; 3 — interior; 4 — duză; 5 — filet de legătură.

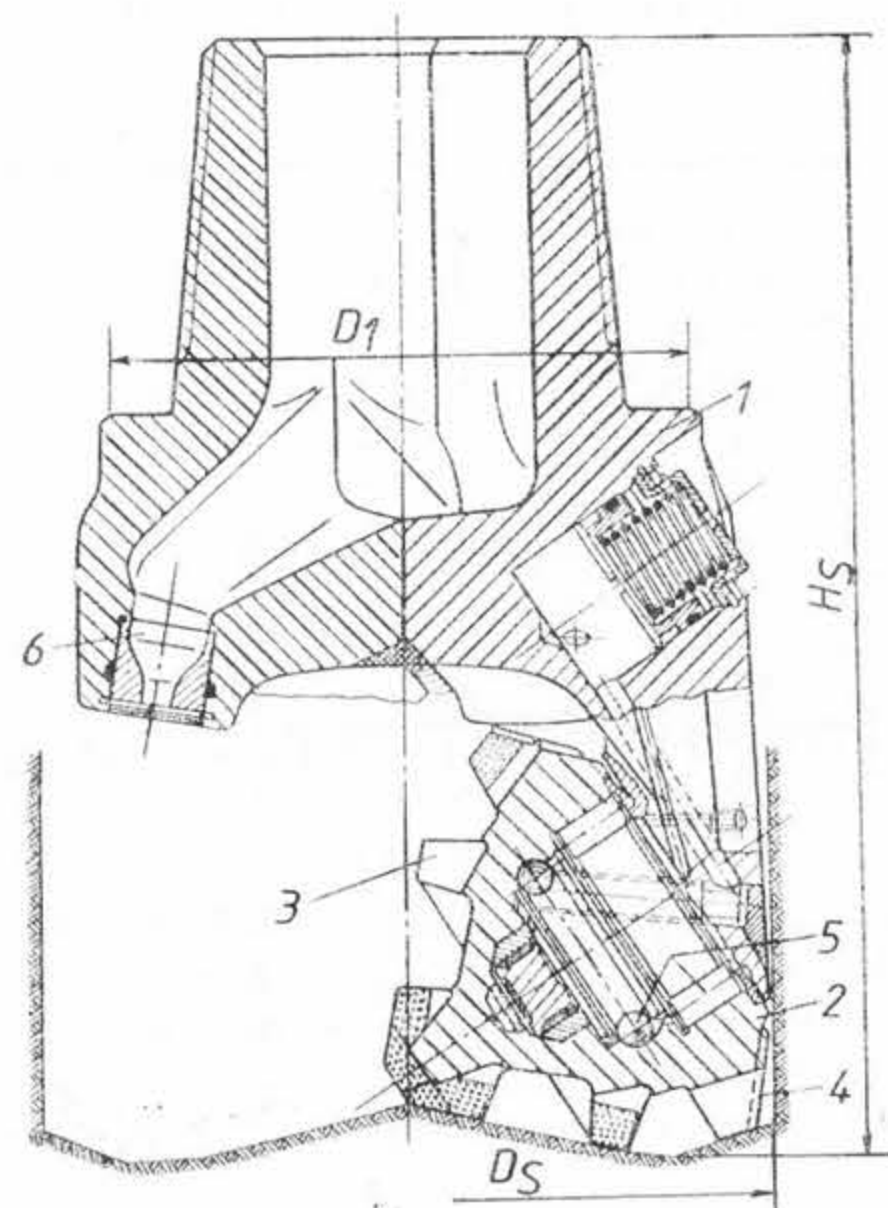


Fig. XI.59. Sapa cu trei role conice:

1 — falcă; 2 — con; 3 — dantură; 4 — contracon; 5 — lagăr; 6 — duză.

sau dislocarea are loc ca efect al despicării și sfărîmării. Profilul dinților diferă după tăria rocilor. Pentru rocile de tărie mijlocie, dinții sînt lungi și ascuțiți, iar pentru rocile tari și foarte tari sînt scurți și obtuși.

Sapele cu role dau rezultatele cele mai bune în forajul rapid, cînd turația și apăsarea pe talpă sînt mari.

Sapele cu role se realizează într-o gamă largă de tipuri și dimensiuni, ceea ce le face propice pentru traversarea rocilor cuprinse în categoriile I—IX. Cele mai răspîndite sînt *sapele cu trei role conice*. Acest tip de sapa este alcătuit dintr-un corp masiv de oțel, prevăzut la partea superioară cu cep sau mufă, iar la partea inferioară cu 3 făci în care se fixează în consolă axele pe care se rotesc rolele sapei (fig. XI.59). În comparație cu sapele cu lame, sapele cu role au o durată mai mare de funcționare, realizează găuri mai uniforme și permit mărirea vitezelor de foraj, fapt pentru care în ultima vreme ele le-au înlocuit aproape complet pe cele cu lame.

Tabelul XI.4.

Tipurile de sape cu trei conuri (role), în funcție de rocile în care se sapă

Tipul sapei	Roca	
	Rezistența la foraj și abrazivitate	Exemple (informativ)
S	Slabă (roci neconsolidate)	Argile și marne slabe, marne nisipoase neconsolidate, nisipuri neconsolidate etc.
SM	Slabă-medie (roci slab consolidate)	Argile și marne consolidate, nisipuri slab consolidate, gips, sare breccifiată etc.
M	Medie (roci mediu consolidate)	Argile, marne nisipoase și nisipuri presate, sare masivă, gresii de tărie medie, conglomerate de tărie medie etc.
MA	Medie și abrazivă (roci mediu consolidate și abrazive)	Nisipuri presate abrazive, gresii de tărie medie abrazive, conglomerate de tărie medie abrazive etc.
MT	Medie tare (roci consolidate)	Marne nisipoase presate tari, gresii compacte, nisipuri presate tari etc.
MTA	Medie tare și abrazivă (roci consolidate și abrazive)	Gresii abrazive compacte, nisipuri silicioase consolidate etc.
T	Tare (roci consolidate tari)	Dolomite, calcare dolomitice, calcare grezoase, gresii compacte tari, conglomerate tari etc.
TA	Tare și abrazivă (roci consolidate tari și abrazive)	Calcare silicioase, gresii silicioase, conglomerate abrazive tari, dolomite abrazive etc.
TEA	Tare-extratate și abrazivă (roci consolidate tari-extratate și abrazive)	Gresii silicioase tari (gresia de Kliwa), calcare dolomitice silicioase, calcare cuarțitice, roci magmatice alterate etc.
EA	Extratate și abrazivă (roci consolidate extratate și abrazive)	Cuarțite, roci magmatice nealterate, bazalt, roci eruptive abrazive etc.

După caracterul rocilor în care se sapă, sapele cu conuri fabricate în România se execută în zece tipuri, conform tabelului XI.4, dimensiunile acestora fiind date în tabelul XI.5.

Dimensiunile sapei cu trei conuri

Diametrul săpei D_s	Simbolul diametrului	Abateri limită	Diametrul umărului săpei D_u	Îmbinare filetată cu umăr cep, STAS 833/1-80	Mărimi	Coloana de burlane în care intră sapa (informativ)		Coloana de burlane pentru care se sapă (informativ)	Înălțimea săpei (informativ)	Masa săpei (informativ) kg	
						Diametrul exterior	Diametrul interior			Varianța constructivă	Cu danșă tură din carboni sinterizate (cu jet)
$3\frac{3}{4}$	95,3				$4\frac{1}{2}$	114,3	99,6	60,3	176	4,5	4,8
$4\frac{1}{8}$	104,8			$2\frac{3}{8}$ REG	5	127,0	108,6	73,0	183	5,0	5,5
$4\frac{1}{2}$	114,3					139,7	118,6	73,0	194	5,5	6,5
$4\frac{5}{8}$	117,5				$5\frac{1}{2}$		121,4		198	7,3	7,8
$4\frac{3}{4}$	120,7						124,3		202	7,8	8,2
$5\frac{3}{8}$	136,5				$6\frac{5}{8}$	168,3	144,2	114,3	235	10,8	11,8
$5\frac{5}{8}$	142,9						147,1		245	12,0	12,3
$5\frac{3}{4}$	146,1						150,4		250	12,1	12,7
$5\frac{7}{8}$	149,1						153,7	127,0	250	12,2	13,5
6	152,4						157,1		255	12,3	14,5
$6\frac{1}{8}$	155,6					177,8	159,4		260	12,7	15,0
$6\frac{1}{4}$	158,8						164,0		262	12,9	18,2
$6\frac{1}{2}$	165,1				$7\frac{5}{8}$	193,7	168,3		281	14,0	21,0
$6\frac{3}{4}$	171,5						177,0	139,7	281	17,5	26,8
$7\frac{3}{8}$	187,3				$8\frac{5}{8}$	219,1	190,8		290	22,8	30,0
$7\frac{1}{2}$	190,5						193,7		322	23,5	32,0
$7\frac{7}{8}$	200,0						203,7	168,3	330	27,0	34,8
$8\frac{3}{7}$	212,7						216,8		340	30,4	41,3
$8\frac{1}{2}$	215,9				$9\frac{5}{8}$	244,5	220,5	177,8	340	31,8	41,5
$2\frac{5}{8}$	219,1						224,4		347	32,7	41,7
$8\frac{3}{4}$	222,3						226,6		352	33,5	42,4

Sape cu diamante. Sunt folosite în foraj la traversarea rocilor de categoriile VII-XII, în care nu se urmărește extragerea de carote, la devierea găurilor de sondă în roci foarte tari și extra tari, precum și la forajul găurilor de sondă pentru anumite scopuri în exploatarea minieră.

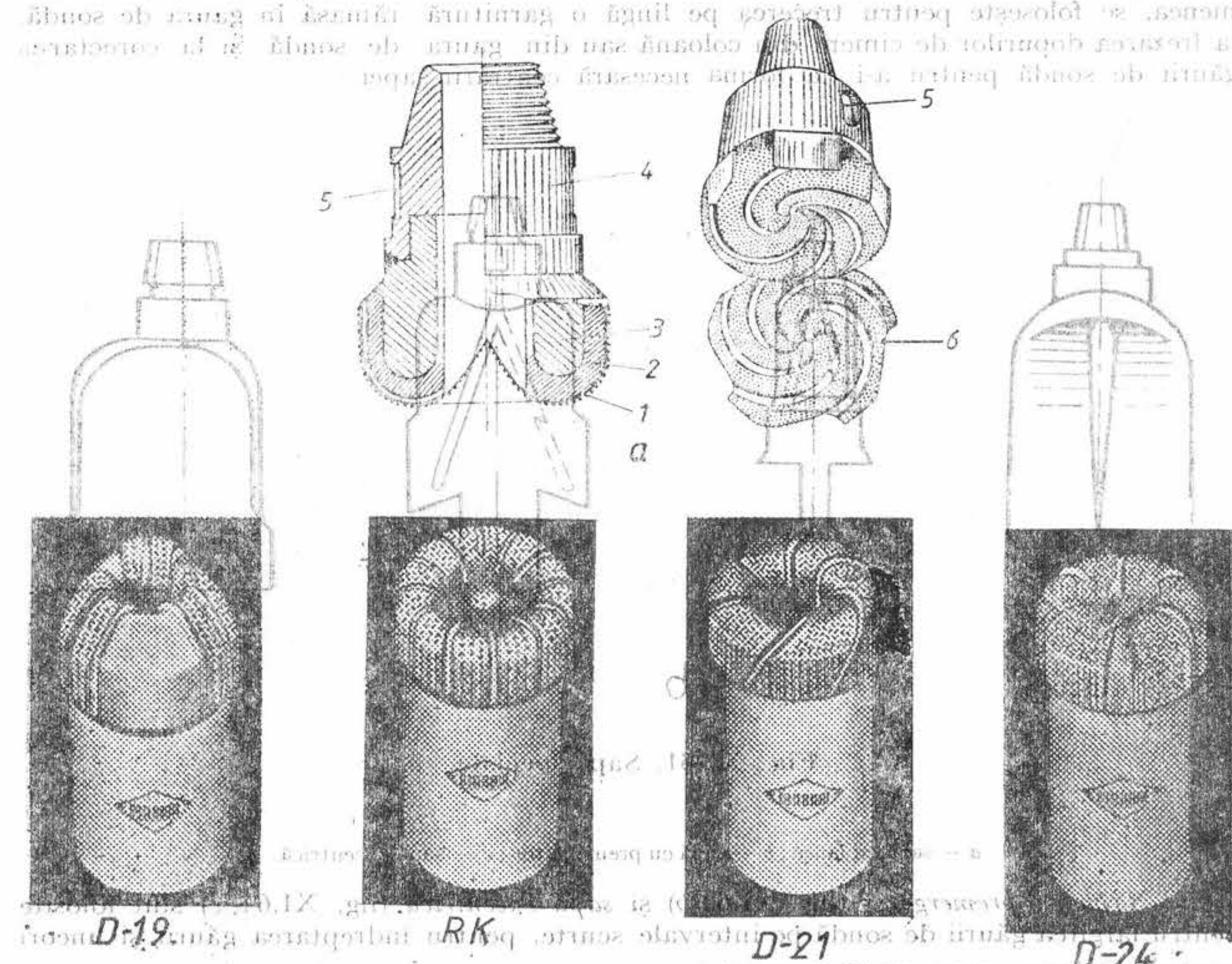


Fig. XI.60. Sape cu diamante.
a - elemente constructive: 1 - diamant; 2 - matrice (metal dur plantat cu diamante); 3 - micșină matricii (oțel cu conținut redus de carbon); 4 - corpul legăturii filetate (oțel aliat); 5 - locaș pentru stringerea săpei; 6 - canale de circulație a fluidului de foraj în sapa DIAROM pentru forajul cu sondeze.

Tipurile constructive de sape cu diamante sunt foarte diferite, atât în ce privește forma geometrică a săpei, cât și amplasarea diamantelor și a canalelor de circulație, urmărindu-se prin construcțiile respective rezolvarea, cât mai bună a problemelor speciale de foraj. În fig. XI.60 se dau elementele constructive ale săpei cu diamante, cum și două tipuri folosite în roci de tărie diferită.

Caracteristicile principale de recunoaștere a diferitelor tipuri constructive sunt: căile de circulație drepte sau spirale; numărul, forma și poziția lor; suprafața de tăiere rotundă sau în formă de trepte a săpei.

d. **Alte tipuri de sape folosite în forajul cu sondeze.** *Sapa lance* sau *sapa șpiț* este o sapa specială, folosită la instrumentații. Cu ea se execută pe talpa găurii de sondă o gaură conică, în interiorul căreia intră obiectele mici rămase la puț, în modul acesta putând fi mai ușor prinse de sculele de instrumentație (fig. XI.61,a). De asemenea, se folosește pentru trecerea pe lângă o garnitură rămasă în gaura de sondă, la frezarea dopurilor de ciment din coloană sau din gaura de sondă și la corectarea găurii de sondă pentru a-i da forma necesară centrării sapei.

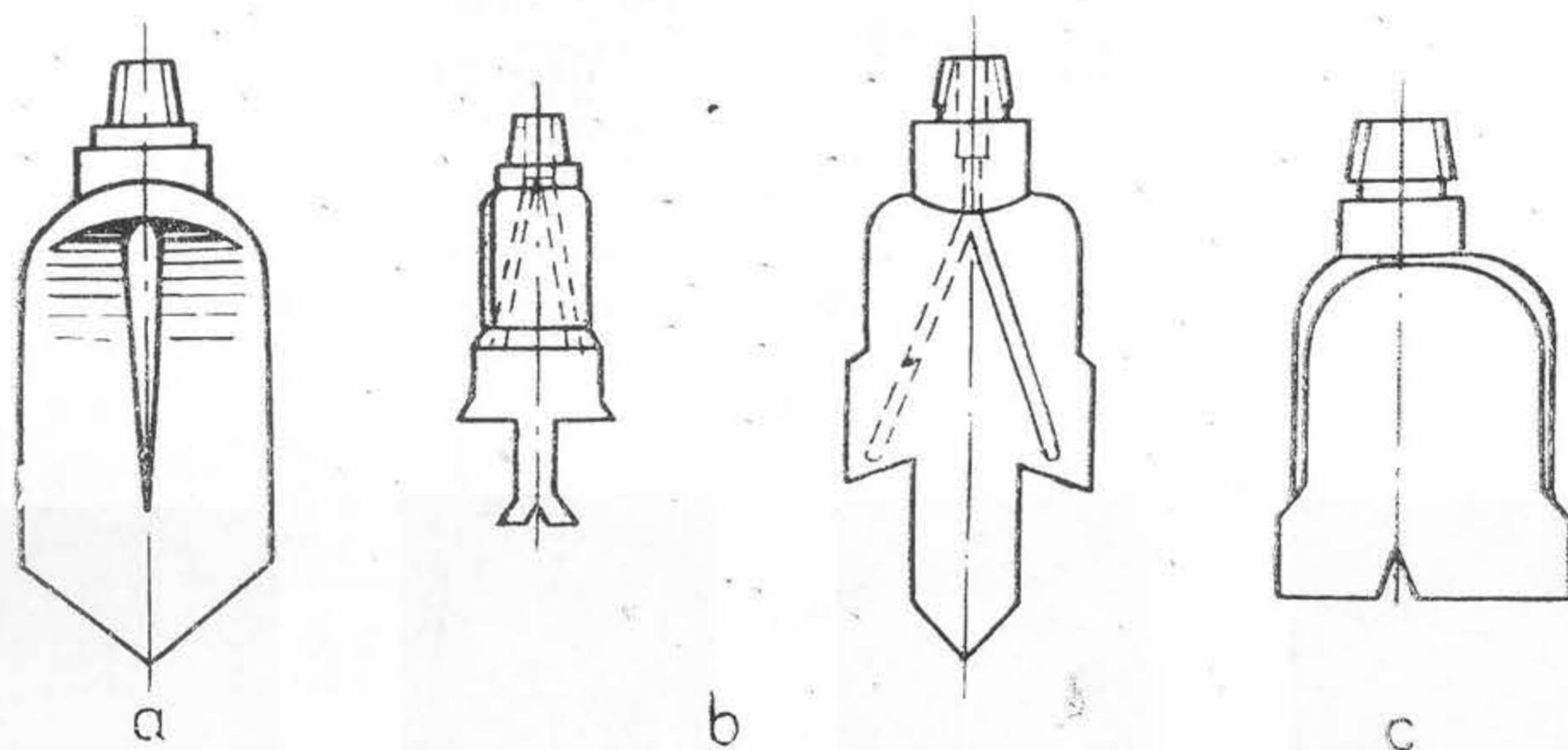


Fig. XI.61. Sape speciale

a — sapa cu lance; b — sapa cu premergător; c — sapa excentrică.

Sapa cu premergător (fig. XI.61,b) și *sapa excentrică* (fig. XI.61,c) sînt folosite pentru lărgirea găurii de sondă pe intervale scurte, pentru îndreptarea găurii și uneori pentru devierea neorientată a acesteia.

Sapa spirală se folosește pentru trecerea pe lângă o garnitură rămasă la puț.

Sapa elicoidală se folosește în forajul dirijat.

Materiale pentru construcția sabelor și pregătirea lor pentru lucru. Sapele, fiind cel mai mult solicitate și expuse uzurii, se fabrică dintr-un oțel de calitate superioară.

Sapele cu role, fiind sape complicate din punct de vedere constructiv, trebuie verificate cu toată atenția, iar cînd se ajunge pe talpă, sapa nouă trebuie supusă unui rodaj de 20—30 min, cu apăsare mică și creștere treptată pînă la apăsarea recomandabilă pentru regimul de foraj.

Sapele cu diamante sînt recomandabile în rocile tari și foarte tari. Pentru asigurarea utilizării corecte a acestor sape, atenția trebuie să fie îndreptată asupra turației, apăsării pe talpă și debitului de foraj.

3.3.2. CAROTIERE FOLOSITE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

Săparea pe secțiune inelară a tălpii găurii de sondă și extragerea probelor de teren din formațiunile străbătute de gaura de sondă se realizează cu instrumente speciale numite *carotiere mecanice*, iar probele extrase se numesc *carote*.

Extragerea probelor de teren cu ajutorul carotierelor se mai numește *carotaj mecanic*.

Carotierele mecanice pentru sondeze se clasifică în:

Carotiere normale	simple	— cu pereți subțiri (pînă la 3,5 mm);
		— cu pereți groși (peste 5,5 mm).
	duble	— cu tub interior fix;
		— cu tub interior rotativ.
Carotiere speciale		— introductibile prin prăjini;
		— pentru extras carote orientate;
		— pentru extras probe laterale;
		— hidropercutante;
		— alte tipuri.

Conform STAS-ului în vigoare (1595/1—80) carotierele mecanice normale se clasifică în:

Carotiere mecanice normale	simple	— tip G
		— tip T
	duble	— cu tub interior rigid (grupa 1) { — tip G — tip T
		— cu tub interior rotitor (grupa 2) { — tip G — tip T — tip M — tip F

Tipul G de carotieră simplă sau dublă se caracterizează prin aceea că efortul de rupere se preia exclusiv de tubul exterior, prin montarea reținătorului de probă în coroană, iar spălarea tălpii găurii de sondă se face pe lângă carotă.

Tipul T de carotieră este similar cu tipul G, avînd însă diametrul probei extrase mai mare prin micșorarea grosimii tubului carotier.

Tipul M este o carotieră dublă la care efortul de rupere se preia exclusiv de tubul interior, prin montarea în interiorul acestuia a reținătorului de probă prin intermediul unei casete, iar spălarea tălpii găurii de sondă se face pe lângă probă (descărcare laterală).

Tipul F de carotieră dublă este similar cu tipul M, însă spălarea tălpii găuri de sondă se face prin coroană (descărcarea frontală).

Carotiere normale simple. Carotiarele simple sînt cele mai folosite în forajul de explorare. La o carotieră simplă se disting următoarele părți: coroana carotierei 1,

Caracteristici tehnice ale carotierelor mecanice simple

Carotiere	Diam. ext. al capului mm	Tipul capului	Diametrul exterior, D, al carotierei mm	Filetul de legătură la prăjină	Diametrul carotei mm	Lungimea carotierei, L mm	Lungimea de carotaj mm
EWG	37,46		36	EW	21,34	1788	
AWG	47,75		46	AW	29,27	1840 3340	1500 3000
BWG	59,69	Cu diamante, cu știfturi sau cu plăcuțe	58	BW	41,91	1815 3315	
NWG	75,44		74	NW	54,61	1832 3332	
BWT	59,69		59	BW	44,32	1072 1822 3322	750 1500 3000
NWT	75,44		74	NW	58,62	1836 3336 4836	1500 3000 4500
HWT	98,98		97	HW	80,82	1873 3373 4873	

reținătorul de probă (carotă) 2, manșonul alezori 3, tubul exterior 4 și reducia superioară 5 (fig. XI.62). Lungimea de sondă se face de la vârful coronei la vârful reductorului superior.

Coroana carotierei sau freza se înșurubează la tubul carotier prin intermediul unei reducții care constituie caseta sau locașul prinzător de carotă. Înșurubarea la prăjină de foraj se face folosind reducia superioară 5. Lungimea tubului carotier este, de obicei, de 3 m, însă se pot folosi și tuburi mai scurte sau mai lungi.

În tabelul XI.6 se dau caracteristicile tehnice ale carotierelor normale simple.

Carotiere normale duble. Forajul cu carotiere simple prin roci dezagregate, nisipoase sau care se spală, nu asigură întotdeauna recuperarea de carote corespunzătoare sau carota extrasă nu corespunde în întregime cerințelor geologice, întrucât roca este puternic frecată, murdărită și cu structura deranjată.

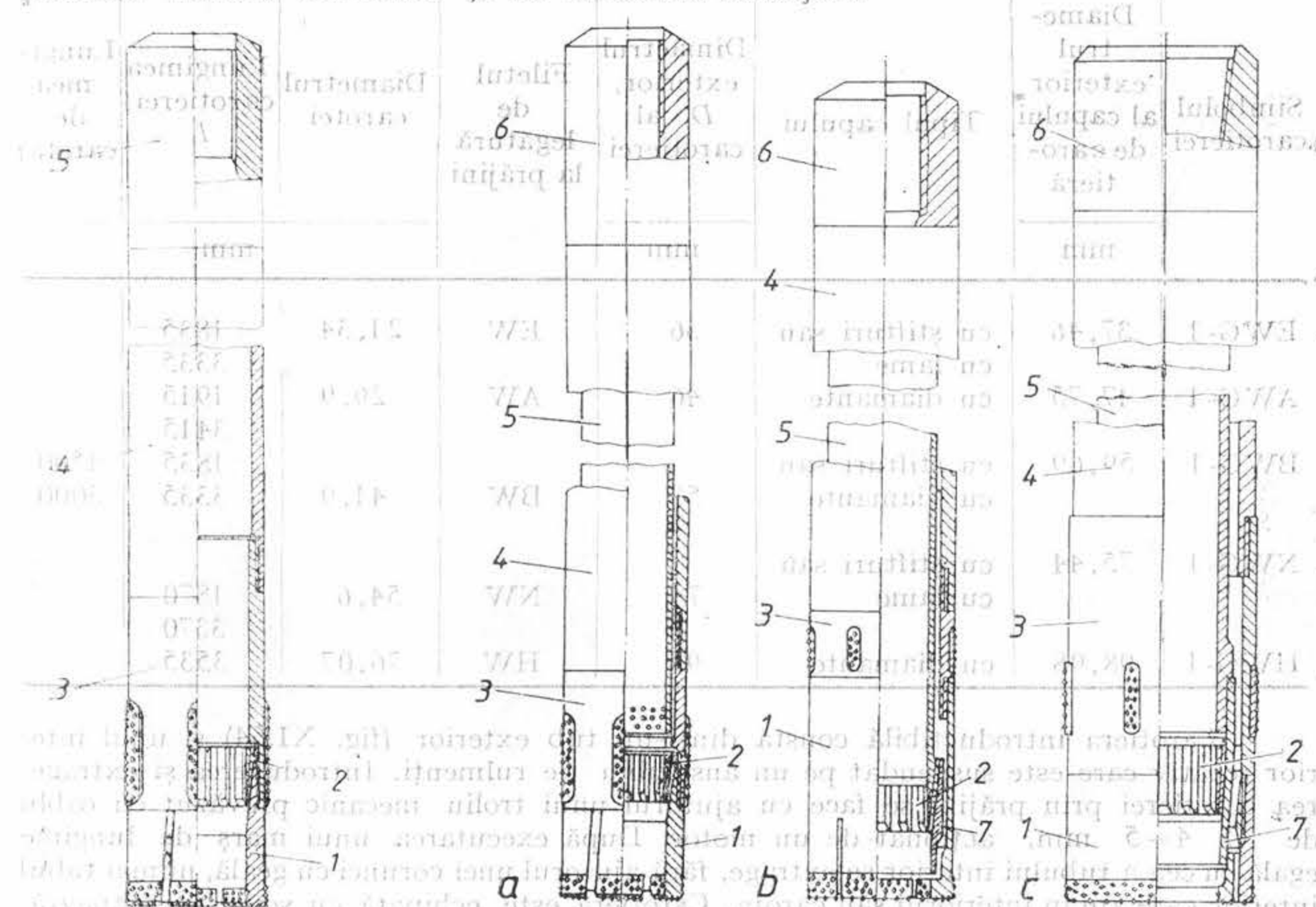


Fig. XI.62. Carotieră mecanică normală simplă tip C și T.

Fig. XI.63. Carotiere mecanice normale duble:

a — tip G și T cu tub interior rigid sau rotitor; b — tip M cu tub interior rotitor; c — tip F cu tub interior rotitor; 1 — coroană; 2 — reținător de probă; 3 — manșon alezor; 4 — tub exterior; 5 — tub interior; 6 — reducia superioară; 7 — caseta reținătorului de probă.

Caracteristici tehnice ale carotierelor introduse

Din aceste motive, la forajul prin roci dezagregate este necesar să se folosească carotiere duble, care sînt astfel construite încît înăltură contactul dintre carotă și fluidul de foraj. În principiu, o carotieră dublă constă din două carotiere simple concentrice. La acest tip de carotieră noroiul de foraj trece din prăjină prin spațiul inelar dintre cele două carotiere, ocolind astfel carota care se găsește în carotiera interioară.

Din punct de vedere constructiv există multe tipuri de carotiere duble, care se perfecționează continuu. După principiul de funcționare și după construcție, acestea se pot împărți în două categorii:

- carotiere duble cu tubul interior fix (fig. XI.63, a);
- carotiere duble cu tubul interior rotitor (fig. XI.63, b și c; tabelul XI.7).

Carotiere speciale. Carotiera introductibilă prin prăjină. Prin construcția și modul său de lucru, această carotieră elimină marșurile de introducere și extragere a prăjinilor și astfel crește timpul productiv de lucru.

Tabelul XI.7

Caracteristici tehnice ale carotierelor mecanice duble

Simbolul carotierei	Diametrul exterior al capului de carotieră	Tipul capului	Diametrul exterior, D, al carotierei	Filetul de legătură la prăjini	Diametrul carotei	Lungimea carotierei, L	Lungimea de carotaj
	mm		mm			mm	
EWG-1	37,46	cu știfturi sau cu lame	36	EW	21,34	1835	
AWG-1	47,75	cu diamante	46	AW	29,9	3335	
BWG-1	59,69	cu știfturi sau cu diamante	58	BW	41,9	1835	1500
NWG-1	75,44	cu știfturi sau cu lame	74	NW	54,6	3370	3000
HWG-1	98,98	cu diamante	95	HW	76,07	3535	

Carotiera introductibilă constă dintr-un tub exterior (fig. XI.64) și unul interior rotativ care este suspendat pe un ansamblu de rulmenți. Introducerea și extragerea carotierei prin prăjini se face cu ajutorul unui troliu mecanic prevăzut cu cablu de $\varnothing 4-5$ mm, acționat de un motor. După executarea unui marș de lungime egală cu cea a tubului interior se extrage, fără ajutorul unei corunci cu geală, numai tubul interior care are în interiorul său carota. Carotiera este echipată cu scule de manevră, montaj și reglaj.

În tabelul XI.8 sînt date caracteristici tehnice ale carotierelor introductibile pentru sondeze.

Tabelul XI.8

Caracteristici tehnice ale carotierelor introductibile

Simbolul carotierei	Diametrul exterior al capului de carotieră, D	Lungimea carotierei, L	Filetul mufei de legătură la garnitura de prăjini	Diametrul probei	Lungimea de carotaj
	mm	mm		mm	mm
AI	46,07	2370 sau 3870	AQ	27	
BI	57,2	2380 sau 3880	BWL	36,27	1500 sau 3000
NI	73,0	2455 sau 3955	NWL	47,50	
HI	92,1	4065	HWL	63,37	3000

3.3.3. COROANE SAU CAPETE DE CAROTIERĂ

Coroana, sau capul de carotieră, numită și *freză*, execută tăierea rocii pe spațiul inelar. Ea are forma unui cilindru gol, cu grosimea peretelui de 6–22 mm și cu înălțimea o dată sau de două ori cît diametrul coroanei.

Coroana este prevăzută la capătul de sus cu un filet dreptunghiular (dreapta) și cu opt spire pe țol, pentru a se putea înșuruba la tubul carotierei, iar capătul de jos este neted sau prevăzut cu dinți pentru a se putea fixa armătura respectivă.

După natura rocilor în care se sapă și după sistemul de foraj, se disting (fig. XI.65, a, b, c, d, e, f și g):

— coroane armate cu aliaje dure (carburi metalice);

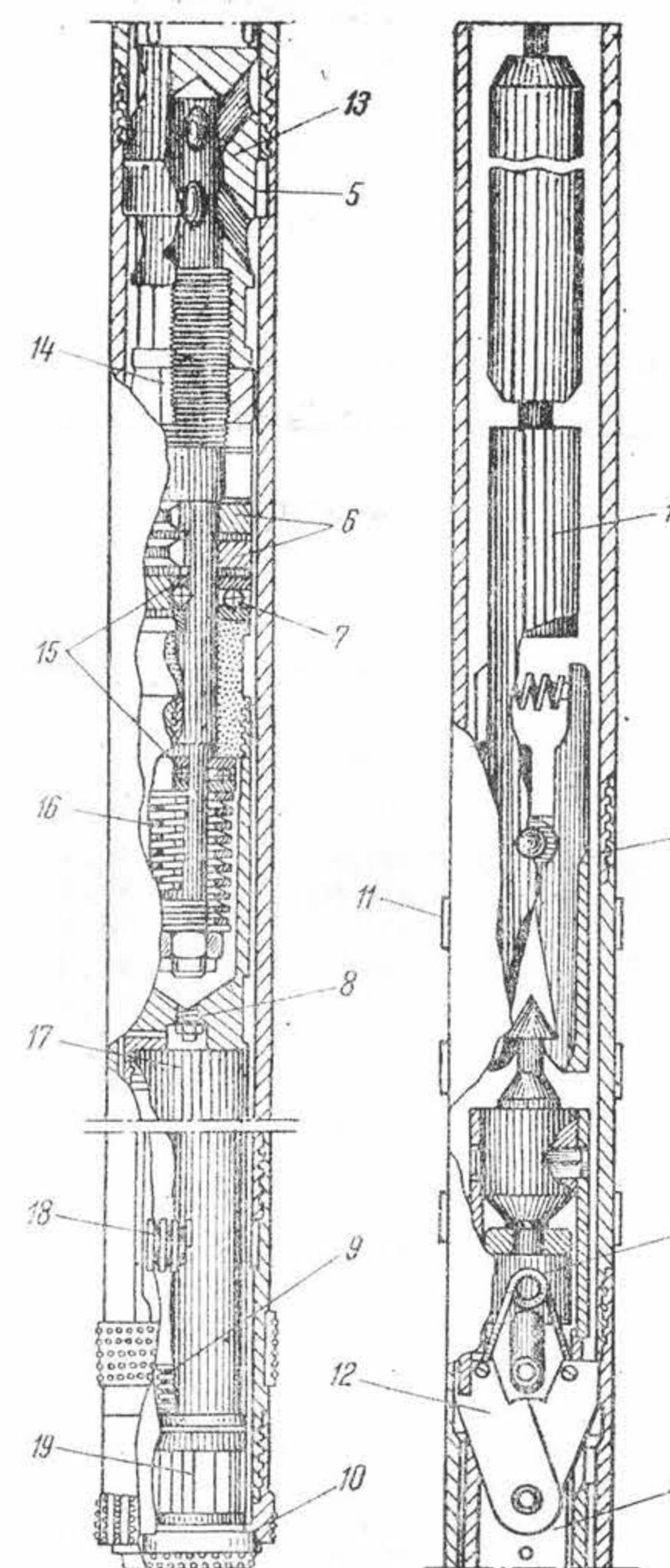


Fig. XI.64. Carotieră introductibilă prin prăjini seria Q:

1 - coruncă; 2 - mufa reducătorului superior cu filet 3 - arcul eliceților; 4 - suportul eliceților; 5 - prag de fixare; 6 - garnitură de semnalizare; 7 - ax cu rulmenți; 8 - gresor; 9 - inel opritor al arcului reținător de probă; 10 - secțiunea interioară a coroanei; 11 - suprafață tratată cu aliaj de bor; 12 - eliceți; 13 - umărul de fixare al ansamblului interior; 14 - piuliță de reglaj a spațiului dintre sabotul piesei port-arc și umărul interior al coroanei; 15 - rulmenți axiali; 16 - arc de compresie; 17 - tub interior; 18 - centroz; 19 - arc prinzător de probă.

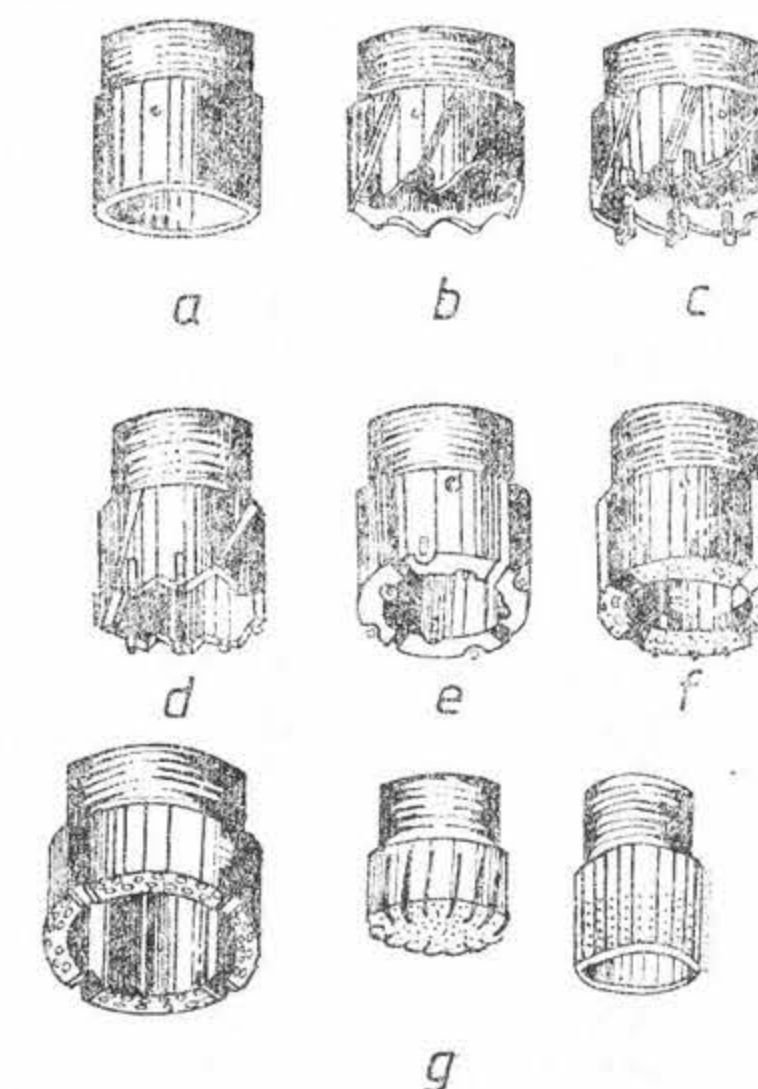


Fig. XI.65. Coroane de carotiere: a - nearmată; b - dințată nearmată; c și d - armate cu aliaje dure; e și f - armaie prin ciocănire și sudură; g - cu inserții de diamante.

DE Coroane cu diamante,

— coroane cu armatură mixtă (carburi metalice și diamante)

Coroanele se construiesc de obicei din burlane de oțel cu rezistență la rupere pe 40 daN/mm² cu un conținut de carbon de 0,3–0,4%.

Dimensiunile uzuale ale coroanelor folosite în forajul de explorare sunt date în tabelul XI.9.

Coroana este prevăzută la capătul de

cu spire pe tot pentru a se putea înșuruba

la tubul carotier, iar capătul de jos este ne-

red sau prevăzut cu dinți pentru a se putea

Drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

drăgălaș (foraj) în carotieră (fig. XI.9)

Tabelul XI.9

Date tehnice privind coroanele cu diamante, alezoare și carotiere

Simbolul carotierei	Simbolul coroanei	Diametrul tăietor al coroanei	Diametrul exterior al manșonului alezor
		Exterior [mm]	Interior [mm]
A. Simple			
BSV	E	36	22
CSV	A	46	32
DSV	B	59	42 (40)
ESV	N	76	53
ESV	H	93	68
FSV	He	98	68
GSV	P	112	88
GSV	Pc	120	88
B. Duble			
EDV	N	76	44
FSV1	H	93	60
GDV	P	112	78
C. Seria D-3			
AXD	AXD-3	47,6	28,7
BXD	BXD-3	59	40,9
NXD	NXD-3	76	52,2
NCD	NCD-3	93	61,1
D. Seria Q			
AQ	AQ	47,6	26,9
BQ	BQ	59	36,3
NQ	NQ	76	47,5
HQ	HQ	98	63,5

Pe lângă dimensiunile arătate în acest tabel se admit toleranțe de ± 20 mm. Aceste toleranțe sînt admise și pentru tășurile aliajelor dure.

Pentru circulația noroiului la talpa găurii de sondă, coroanele sînt prevăzute cu mai multe canale interioare drepte sau înclinate.

a. **Coroane cu aliaje dure.** Coroana cu inserții de materiale dure este constituită dintr-o piesă cilindrică de oțel, prevăzută la partea superioară cu cep sau mufă pentru

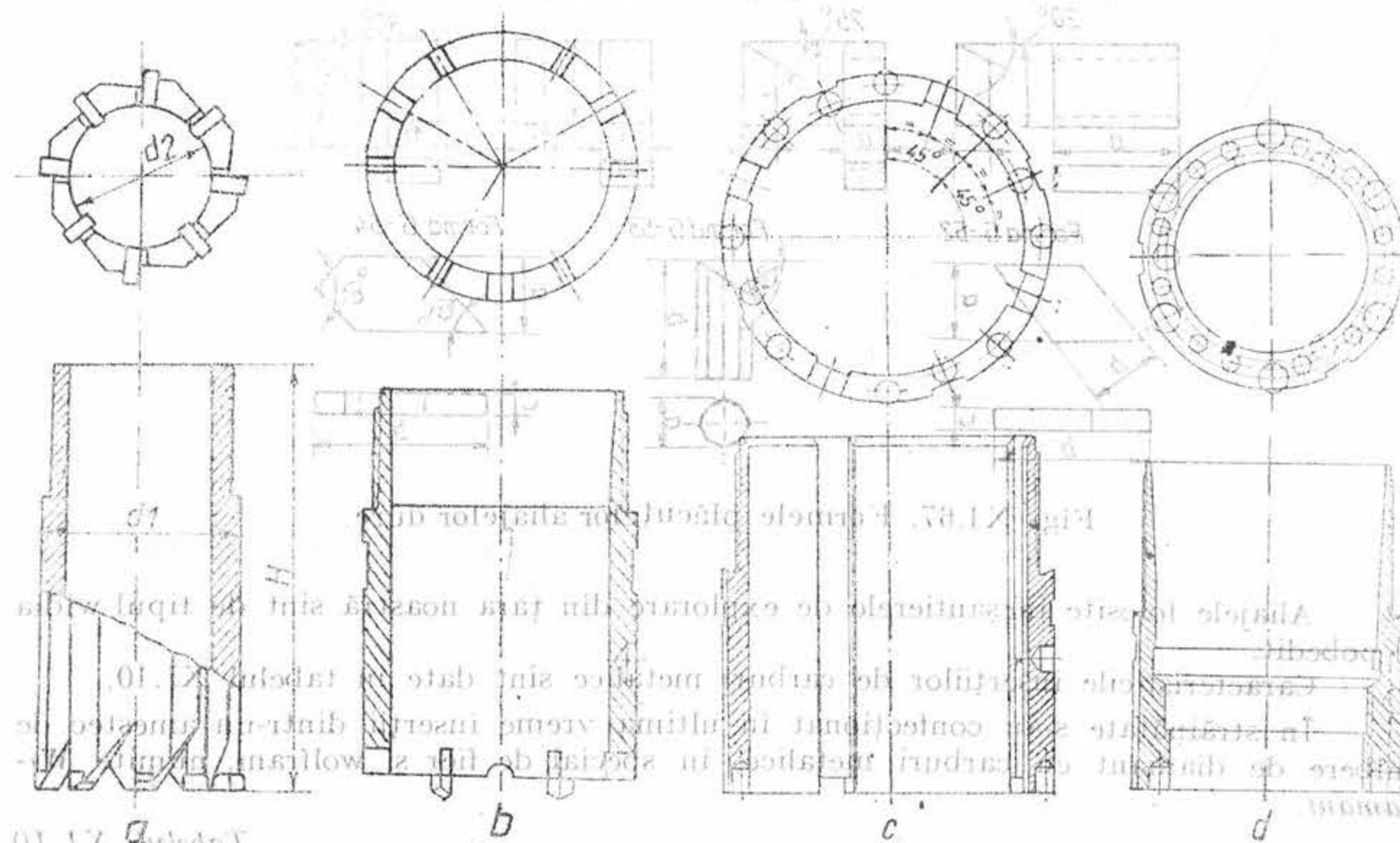


Fig. XI.66. Coroane de carotieră armate cu aliaje dure :

a — coroană cu paleți; b — coroană simplă cu plăcuțe insertate la distanțe egale; c — coroană simplă cu plăcuțe insertate în sectoare; d — coroană dublă, monobloc, cu descărcare frontală și cu plăcuțe insertate în sectoare.

înfiletarea sa la carotieră — fie direct, fie prin intermediul unui niplu — iar la partea inferioară o dantură — fie sub formă de paleți tăiați în corpul cilindric, fie locașuri cilindrice pe diametrul interior și exterior și pe care, respectiv în care, se fixează plăcuțele de aliaje dure (fig. XI.66). Prin canale tăiate pe fața frontală de atac la carotierele simple sau prin canale practicate în peretele coroanei la carotierele simple sau prin canale practicate în peretele coroanei la carotierele duble se asigură circulația fluidului de foraj la talpa.

Coroanele cu paleți se folosesc în roci de categ. I–IV, putînd avea 4, 6 sau 8 paleți, iar cele cu dantură insertată în roci de categ. IV–VIII.

Aliajele dure folosite pentru armarea coroanelor în forajul cu sondeze sînt aliaje metalo-ceramice. Plăcuțele de aliaje dure pot fi rombice, trapezoidale, dreptunghiulare sau octogonale (fig. XI.67).

Pentru aplicarea plăcuțelor de aliaje dure se marchează pe talpa coroanei locașurile pentru plăcuțe, care se execută prin sfredelire sau prin pilire. Adîncimea locașurilor trebuie să fie astfel aleasă încît plăcuța să rămîna deasupra feței

coroanei, pe o porțiune care să permită ascuțirea ei. Lipirea se face cu aramă, în cazul când se dispune de un cuptor cu păcură sau electric și cu alamă, folosind pentru lipire lampa cu benzină.

Pentru rocile moi ascuțirea plăcuțelor se face la un unghi de 44–55°, iar pentru rocile mai tari și fisurate la un unghi de 60–65°.

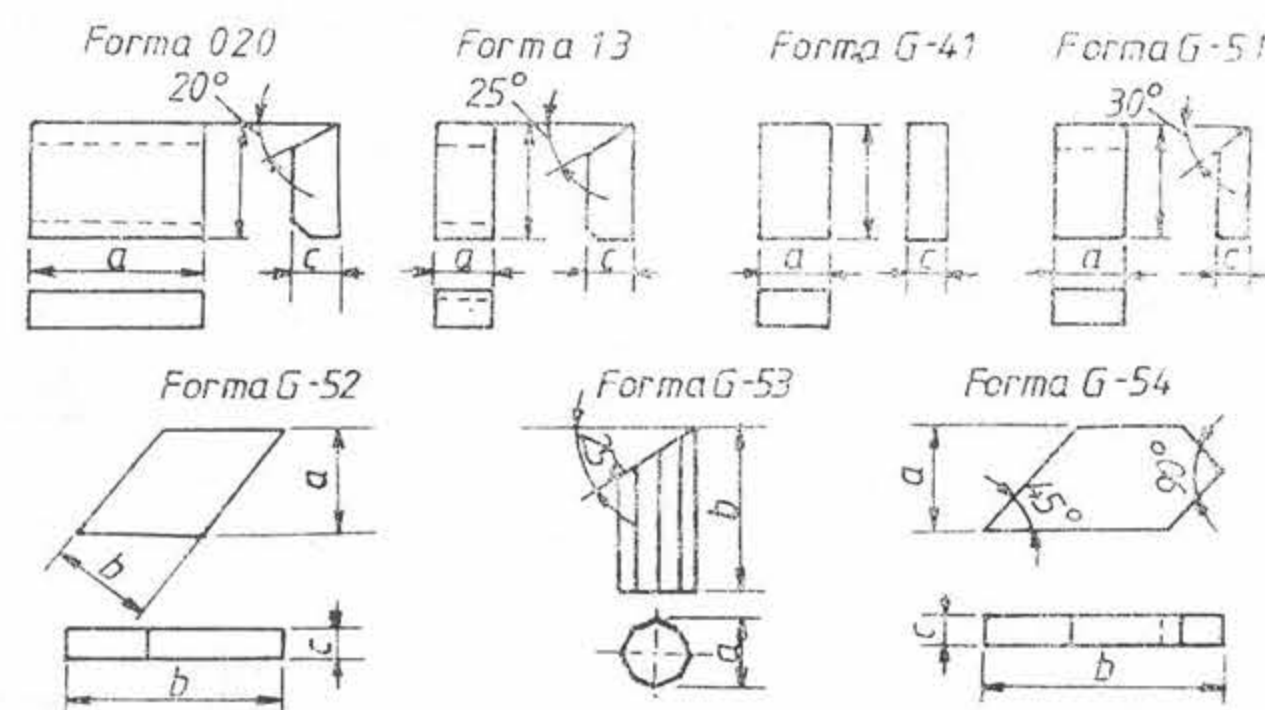


Fig. XI.67. Formele plăcuțelor aliajelor dure.

Aliajele folosite în șantierele de explorare din țara noastră sînt de tipul widia și pobedit.

Caracteristicile inserțiilor de carburi metalice sînt date în tabelul XI.10.

În străinătate s-au confecționat în ultima vreme inserții dintr-un amestec de pulbere de diamant cu carburi metalice, în special de fier și wolfram, numite *Widiamant*.

Tabelul XI.10

Caracteristicile inserțiilor de carburi metalice

Varietatea de Pobedit	Conținutul de metale rare		Proprietăți fizico-mecanice			
	Cobalt	Carburi de wolfram	Rezistența la încovoiere [daN/cm ²]	Duritatea Rockwell (HRC) după scara C	Greutatea specifică [daN/dm ³]	Correspondența cu variația de material dur după normele DIN
VK-2	2	98	100	90,0	15,0...15,4	—
VK-3	3	97	100	89,0	14,9...15,3	H ₁
VK-6	6	94	120	88,0	14,6...15,0	G ₂
VK-8	8	92	130	87,5	14,4...14,8	G ₁
VK-10	10	90	135	87,0	14,2...14,6	S ₂
VK-11	11	89	150	86,0	14,0...14,4	—
VK-15	15	85	160	86,0	13,9...14,1	—

Carburile metalice se aleg în funcție de natura rocilor. Astfel, pentru forajul în roci moi și semitari (categoriile I–IV) se folosesc inserții de carburi metalice de forma G-413, G-414, G-514 și G-515, pentru forajul în roci tari (categoriile V–VI) inserții de forma G-511, G-512 și G-513, iar pentru roci foarte tari (categoriile VII–VIII) inserții de forma G-531 și G-533.

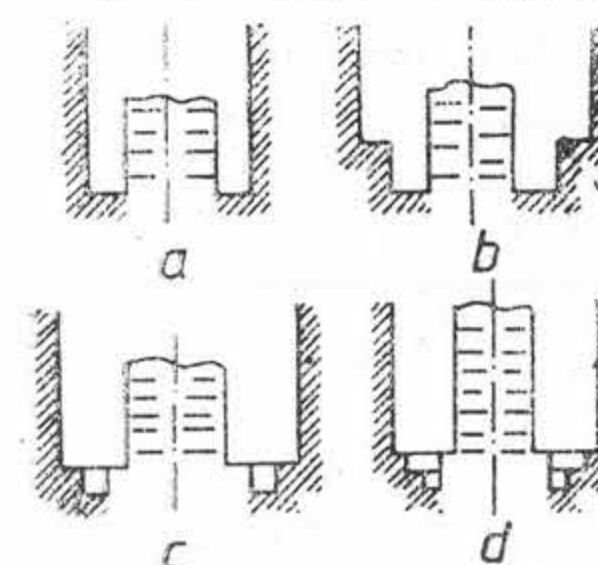


Fig. XI.68. Schema profilului tălpii găurii de sondă:

a — drept; b — cu două trepte; c — cu două trepte simetrice; d — cu trei trepte.

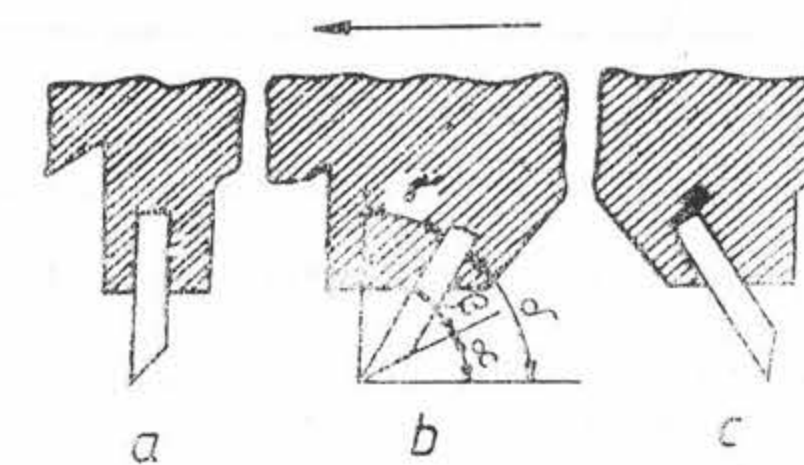


Fig. XI.69. Schema de fixare a inserțiilor în coroană:

a — inserție verticală; b — inserție înclinată sub un unghi pozitiv; c — inserție înclinată sub un unghi negativ.

Aliajele dure se inserțează pe unul, două sau trei rinduri.

Elementele noi care au survenit în construcția coroanelor cu aliaje dure constau, pe de o parte, în folosirea inserțiilor de dimensiuni mici care realizează suprafețe inelare de tăiere mici și în consecință viteze mari de avansare, iar pe de altă parte, așezarea inserțiilor la diferite nivele față de capul coroanei, ceea ce permite crearea de suprafețe de tăiere în trepte, obținându-se în felul acesta o dislocare mai ușoară a rocii (fig. XI.68).

Un alt element este așezarea inserțiilor sub unghiuri negative (mai mari de 90°). În felul acesta inserțiile se distrug mai puțin și au o uzură mai mică. Unghiurile notate în figură au următoarea semnificație: δ — unghiul de tăiere; γ — unghiul de atac; α — unghiul de așezare a inserției și β — unghiul de ascuțire a inserției (fig. XI.69).

Regimul de foraj pentru coroanele cu aliaje dure. În forajul cu aliaje dure, corelarea apăsării pe talpă cu turația și cu debitul fluidului de foraj variază în limite foarte largi, în funcție de natura rocilor în care se forează. Variația acestor parametri în funcție de tăria rocilor este dată în tabelul XI.11.

Apăsarea axială totală. Este egală cu produsul dintre numărul de inserții al coroanei și forța de apăsare. Se recomandă ca apăsarea pe o inserție să fie mai mare decât produsul dintre suprafața de contact a inserției cu roca și rezistența rocii la strivire. Dacă nu este îndeplinită această condiție, fie că se va produce o zgîrîiere a rocii și o uzură pronunțată a coroanei, fie că va avea loc o spargere și o desprindere a inserțiilor dacă apăsarea este prea mare. În fig. XI.70 se arată influența apăsării axiale asupra vitezei de foraj.

În practica explorărilor de pînă acum s-a calculat apăsarea pe talpă de 100–120 daN pe un dinte în formă de placă la forarea în rocile mai tari și de 50–80 daN pe un dinte la forarea în roci de tărie mijlocie. În roci moi, argiloase, apăsarea pe un

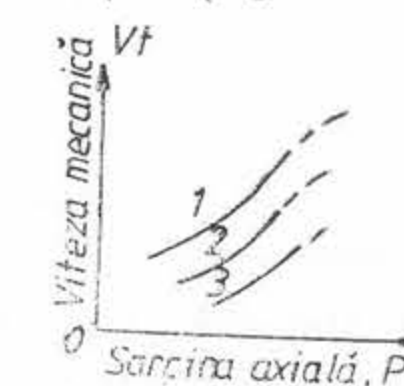


Fig. XI. 70. Influența apăsării axiale asupra vitezei de foraj:

1 — condiții ideale; 2 și 3 — cu spăiere insuficientă.

dinte scade și mai mult. În tabelul XI.12 este dată valoarea apăsării axiale necesară în forajul cu carburi metalice în funcție de diametrul găurii și de tăria rocilor în care se forcăză.

Tabelul XI.12

Parametrii speciei ai regimului de foraj cu carburi metalice

Parametrul	În roci moi I—IV	În roci tari V—VI	În roci foarte tari VII
Apăsarea pe un dinte, daN	40—60	80—100	120
Viteza periferică, m/s	1,5—2,00	2,0—1,5	1,0
Debitul fluidului de foraj (l/min) pentru 1 cm din diametrul capu- lui de carotieră	12—14	14—12	12—10

Turația și viteza medie periferică a coroanei se stabilesc cu relația:

$$v = \frac{(D + d)}{2} n$$

în care: D — este diametrul exterior de tăiere al coroanei, m;
 d — diametrul interior de tăiere al coroanei, m;
 n — turația garniturii, m/min;
 v — viteza medie periferică a coroanei, m/s;
Viteza periferică ce se recomandă pentru coroanele cu aliaje dure variază între 1 și 2 m/s, după natura rocii, așa cum rezultă din tabelul XI.13.

Tabelul XI.12

Apăsarea axială necesară în forajul cu carburi metalice

Diametrul exterior al capului de carotieră [mm]	Categoria de tărie a rocilor	Apăsarea axială necesară [daN]
46	I—IV	300—350
59	I—IV	350—400
76	I—IV	400—500
93	I—IV	480—600
98	I—IV	650—800
112	I—IV	800—1000
120	I—IV	1000—1200
152	I—IV	1200—1400
46	V—VI	400—500
59	V—VI	500—600
76	V—VI	600—750
93	V—VI	750—1000
98	V—VI	1000—1200
112	V—VI	1200—1400
120	V—VI	1400—1600
152	V—VI	1600—1800

Influența turației asupra vitezei mecanice. Din încercările de laborator, în care sarcina axială și debitul de spălare s-au menținut constante și turația a fost variată astfel încât viteza periferică să fie de 50—360 cm/s, rezultă că:

— adâncimea de pătrundere se menține, practic, constantă când n crește, iar când $n > n_c$ (turația critică) uzura crește mult mai repede decât n .

Influența debitului de noroi asupra vitezei mecanice. La forajul fără carotaj, viteza de foraj crește proporțional cu debitul Q (fig. XI.71). La forajul cu carotaj continuu, debitul necesar este mult mai mic, deoarece:

— volumul de rocă dislocată este mai mic, cel mult 3/4 din volumul găurii de sondă.

În general, se recomandă ca cifră orientativă debitul de 10—12 l/min pentru un centimetru din diametrul coroanei.

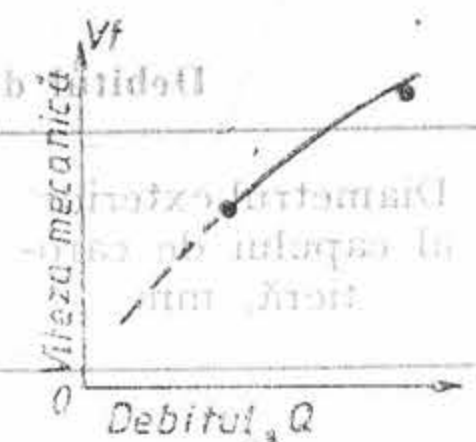
În ultimii ani, pe șantierele noastre s-a extins mult forajul cu diamante, prin care se realizează o viteză mecanică medie mult sporită față de forajul cu alicie sau cu widia în rocile de categoriile VII—XIII.

Valoarea debitului de fluid de foraj în funcție de diametrul coroanei și de tăria rocilor este redată în tabelul XI.14.

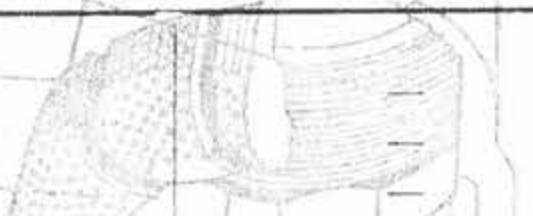
b. **Coroane cu diamante.** Coroanele cu diamante au ca elemente constructive (fig. XI.72):

— corpul de oțel 1 prevăzut cu filet la partea superioară;

— matricea 3 în care sunt fixate diamantele 4 și care dă forma coroanei. Matricea este constituită dintr-o pulbere de material dur, rezistent la abraziune, din care se face o pastă în care se aplică diamantele și apoi se încălzește în cuptoare speciale la o anumită temperatură;

Fig. XI.71. Influența debitului de noroi Q , asupra vitezei mecanice de foraj.

Turația necesară la forajul cu carburi metalice [cm/s]

Diametrul exterior al capului de carotieră [mm]	Categoria de tărie a rocilor		
	I—IV	V—VI	VII
46		800—600	400
59		600—450	300
76		500—375	250
93		400—300	200
98			
112			175
120			
152		250—150	125

— miezul de oțel 2 care face legătura între corpul de oțel 1 și matricea 3.

Elementele funcționale ale capetelor de carotieră cu diamante sunt: filetul de legătură 5, pentru racordarea la carotieră, locul 6 din corpul metalic al sculei, nut sau orificiu, marginea carotierei 7 (de calibrare), suprafața de tăiere 8 (sectoare cu diamante), canalele de circulație 9, orificiile pentru descărcarea fluidului 10 și degajările 11.

După modul de aranjare a diametrelor pe fața frontală, coroanele cu diamante pot fi:

- cu un singur strat de diamante;
- cu mai multe straturi de diamante;
- cu diamante impregnate (cu spărturi de diamante).

Tabelul XI.14

Debitul de fluid necesar la forajul cu carburi metalice (l/min)

Diametrul exterior al capului de carotieră, mm	Categorie de tărie a rocilor		
	I—IV	V—VI	VII
46	—	65—55	50
59	—	80—70	60
76	—	100—90	80
93	—	130—110	95
98	120—140	—	—
112	—	155—135	120
120	140—165	—	—
152	—	210—180	160

La executarea coroanelor cu diamante se folosesc diamante industriale. Există trei varietăți de diamante folosite în scopuri tehnice:

- varietatea *carbonado* sau *diamantul negru*;
- varietatea *ballas*;
- varietatea *boart*, *bort*, *bortz*.

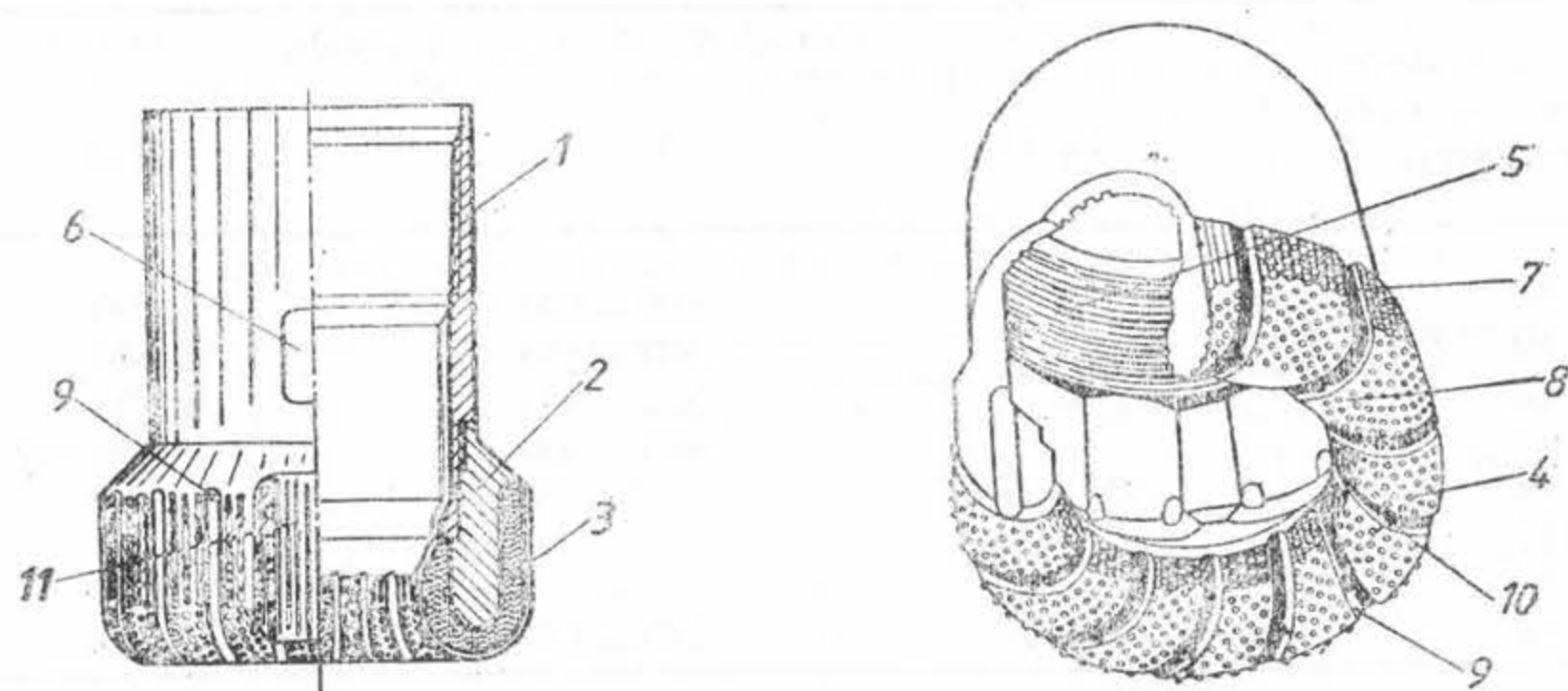


Fig. XI.72. Elementele constructive și funcționale ale coroanei cu diamante.

Diamantele *carbonado* sînt lipsite de porozitate și clivaj și se caracterizează prin rezistență mare la uzură și la șocuri. Se utilizează pe scară redusă la foraj și numai în cazul rocilor foarte tari și abrazive, fiind foarte scumpe.

Diamantele *ballas* sînt de asemenea lipsite de porozitate și se prezintă sub forme aproape sferice. În jurul miezului au un înveliș tare, ce le face apte pentru forajul în roci tari și abrazive.

Diamantele *boart* sînt mai puțin rezistente decît varietățile de carbon și ballas. Denumirea de boart se dă pentru toate sorturile de diamante cu structură cristalină paralelă și forme neregulate, nefolosite ca bijuterii. Reprezintă varietatea diamantelor

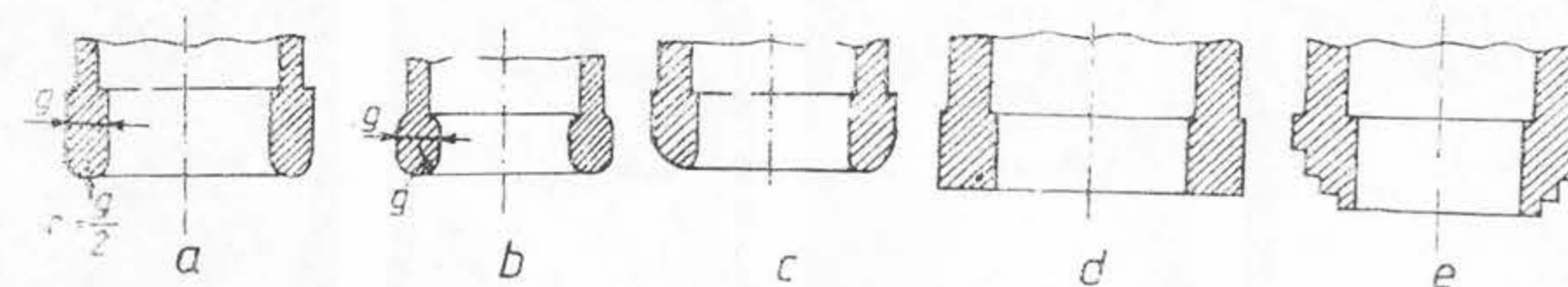


Fig. XI.73. Diferite profile ale coroanelor cu diamante.

cu cele mai largi utilizări în tehnica forajului. Se mai numesc și *boarturi sparte*. Sînt ieftine și se pretează la fabricarea coroanelor impregnate.

Un element important în construcția coroanelor cu diamante este forma profilului coroanei (fig. XI.73). Cele mai folosite profiluri în forajul de explorare sînt:

- *profilul rotund*, cu raza de curbura aproximativ egală cu jumătatea grosimii peretelui coroanei (fig. XI.73, a);
- *profilul semirod*, cu raza de curbura a feței frontale egală cu grosimea pereților coroanei (fig. XI.73, b);
- *profilul cupolă*, cu o rază mare de rotunjire la exterior și mai mică la interior. Acest profil este indicat să fie utilizat la traversarea formațiunilor mai puțin tari și cu tendințe de deviere (fig. XI.73, c);
- *profilul plat*, cu fața frontală plată și marginile ușor rotunjite. În terenurile abrazive diamantele se uzează repede, din care cauză apare și instabilitatea pe talpă și tendința de deviere (fig. XI.73, d);
- *profilul în trepte*, cu forma în trepte a suprafeței frontale, fiecare treaptă depășind pe cea următoare cu cîțiva milimetri. Această formă asigură o bună centrare a carotierei pe talpă (fig. XI.73, e).

Alte profile se confecționează și se utilizează în condiții specifice de lucru, cum ar fi forajul în roci friabile, sfărîmicioase etc.

Ca și coroanele cu vidia, coroanele cu diamante se construiesc pentru lucru cu carotiere simple și carotiere duble. La coroanele pentru carotiera dublă circulația fluidului de foraj la talpa găurii de sondă se face prin orificii ce trec prin fața frontală a coroanei, evitîndu-se în felul acesta spălarea probei de rocă la talpă.

O coroană cu diamante se caracterizează prin diametrul exterior, diametrul interior de tăiere a probei, mărimea diamantelor, tăria matricei, profilul coroanei, numărul de canale și forma acestora, caratajul coroanei (greutatea în grame a diamantelor cu care a fost insertată coroana) și seria sa. În forajul de explorare cu sondeze, cel mai des folosite sînt coroanele cu diametrul exterior de 37 mm, 46 mm, 59 mm, 76 mm și 93 mm (v. tabelul XI.15).

La baza filetelui fiecărei coroane este marcată fabricația coroanei (Diarom, Cris-tensen etc.), iar prin litere se indică țaria matricei și seria coroanei. În fig. XI.74 se dau câteva tipuri de capete de carotieră cu diamante de fabricație indigenă DIA-ROM.

În tabelul XI.15 sînt date tipurile de coroane și manșoane alezoare armate cu diamante sau cu carburi metalice și dimensiunile acestora, conform STAS 1595/1-80.

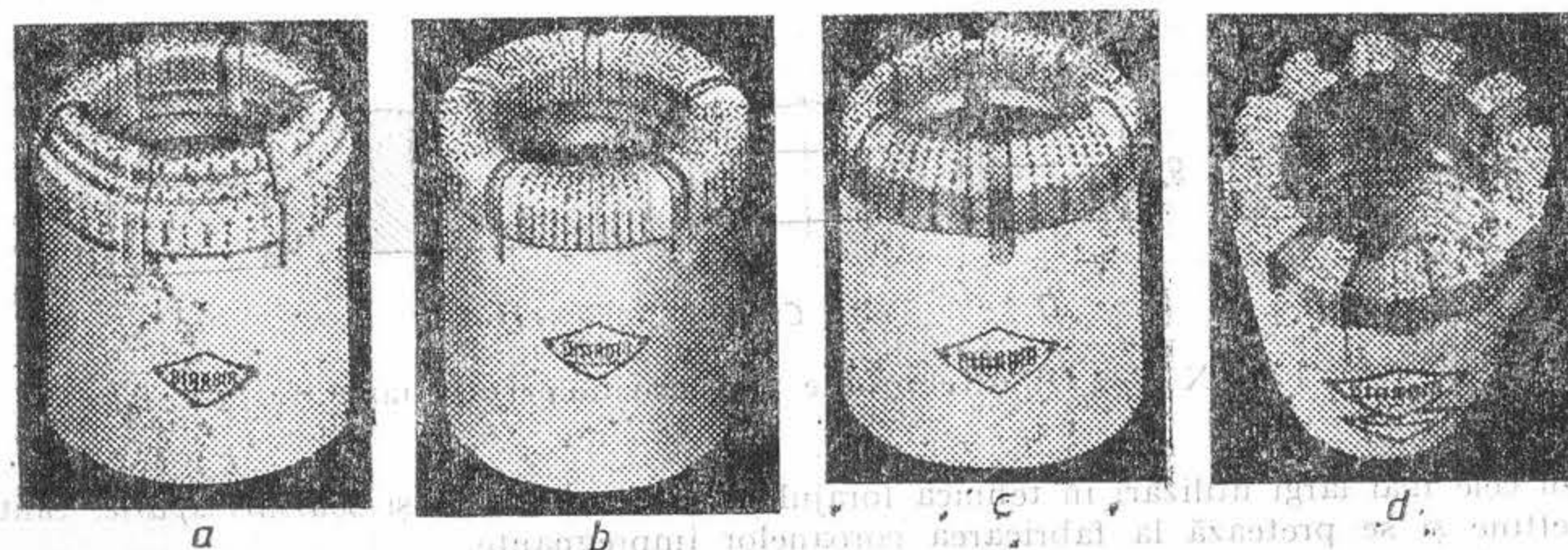


Fig. XI.74. Tipuri de capete de carotieră cu diamante de fabricație DIAROM:

a — coroană inserată cu profil în trepte; b — coroană inserată cu profil W; c — coroană inserată cu profil E; d — coroană inserată tip Alfa.

Procesul dislocării rocilor în forajul cu diamante și regimul de foraj. Procesul dislocării rocilor de către corcanele cu diamante se poate compara cu dislocarea prin așchiere, pe care o realizează frezele cu insertii cu unghi negativ. Date fiind dimensiunile reduse ale elementelor active, procesul de dislocare a rocilor de către corcane cu diamante este, de fapt, o dislocare prin presare și zgîriere.

Asimilind procesul de dislocare cu un proces de așchiere, fiecare diamant joacă rolul unui cutit.

După experiențele efectuate în roci de natură diferită, s-au tras următoarele concluzii:

- viteza de avansare crește cu numărul de rotații n ;
- consumul de diamante este minim cînd turația este în jurul a 1.000 rot/min;
- o turație prea ridicată sau o apăsare prea mică, este dezavantajoasă, deoarece se polizează diamantele fără a realiza o avansare corespunzătoare;
- viteza de avansare depinde de caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor traversate și este cu atît mai mare cu cît corcana conține mai multe diamante.

În fig. XI.75 este reprezentată variația vitezei în funcție de sarcina axială obținute la forajul cu corcane cu diamante în sisturi cloritoase.

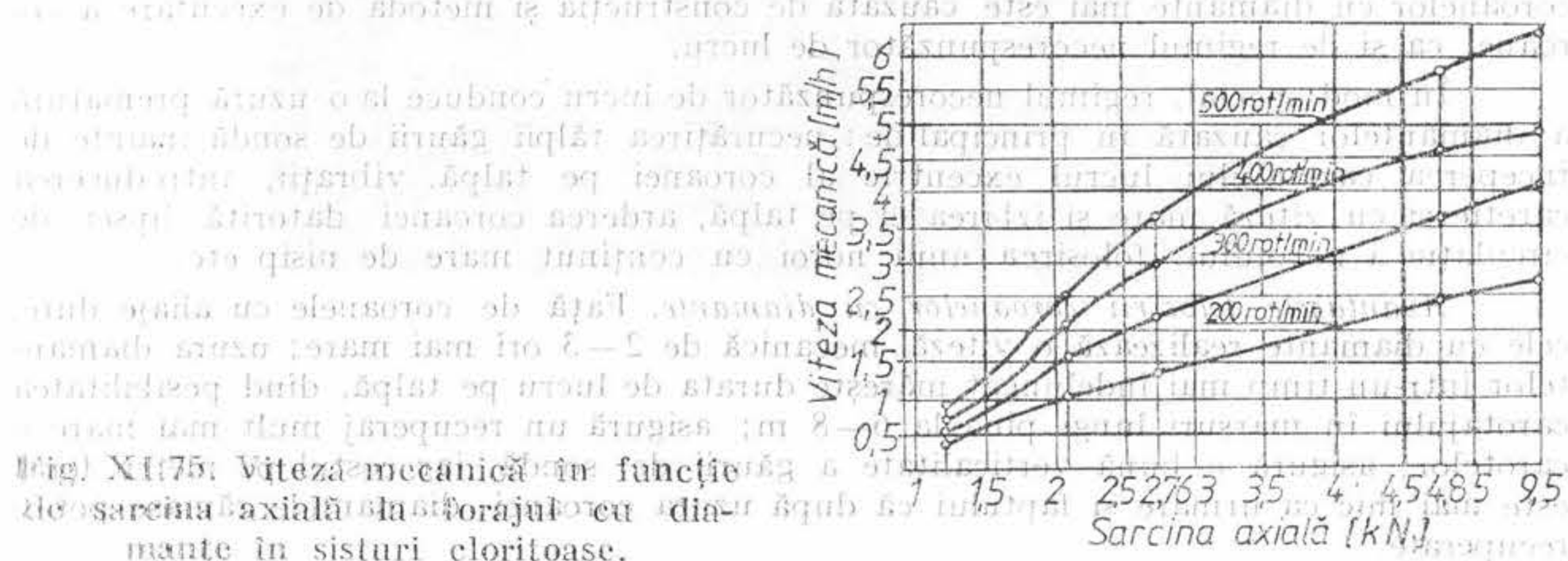
După experiența din șantierele noastre, viteze bune de foraj se obțin cu următorul regim de foraj:

- apăsarea 11—25 daN/carat pentru corcanele monostrat și 50 daN/carat pentru corcanele polistrat;
- turația 100—880 rot/min;
- debitul 4—5 l/min de fiecare centimetru de diametru al coroanei.

Tabelul XI.15

Coroane și manșoane alezoare armate cu diamante sau cu carburi metalice

Simbolul diametrului nominal	Diametrul exterior max min [mm]		Simbolul carotierei la care se utilizează coroana			
	Coroană	Manșon alezor	WT	WG	WM	WT
E	37,46 37,21	37,85 37,59	—	EWG	EWM	EWT
C	46,10	46,50	—	—	—	—
A	45,90 47,75	46,30 48,13	—	EWG	AWM	AWT
D	47,50 59,10	47,88 59,50	—	—	—	—
B	58,90 59,69	59,30 60,07	—	BWG	BWM	BWT
J	59,44	59,82	—	—	—	—
N	76,10 75,90	76,50 76,30	—	—	—	—
K	75,44 75,18	75,82 75,56	—	NWG	NWM	NWT
L	93,10 92,90	93,50 93,30	—	—	—	—
P	112,10 111,90	112,50 112,30	—	—	—	—
V	120,27 119,76	120,78 120,40	PWF	—	—	—
V	152,10 151,90	152,50 152,30	—	—	—	—



Valoarea orientativă a parametrilor regimului de foraj pentru corcanele cu diamante este dată în tabelul XI.16.

Consumul de diamante (uzura). Uzura corcanelor cu diamante se exprimă în carate. Ea se datorește frecării și șocurilor. În terenuri omogene are loc uzura prin frecare.

Tabelul XI.16

Valoarea orientativă a parametrilor regimului de foraj pentru corcanele cu diamante

Dimensiunea și tipul coroanei [mm]	Apăsarea [daN]		Turația [rot/min]		Debitul [l/min]	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
112 × 88 insertate	1000	2000	170	330	120	190
impregnate	1400	2500	170	170	120	190
93 × 68 insertate	800	1700	210	410	75	110
impregnate	1100	2200	210	410	75	110
93 × 40 insertate	1000	2200	210	410	75	110
impregnate	1400	2400	210	410	75	110
76 × 53 insertate	700	1500	250	500	40	60
76 × 44 insertate	700	1500	250	500	45	70
impregnate	1000	1800	250	500	45	60
59 × 42 insertate	600	1000	320	650	30	40
impregnate	800	1300	320	650	30	40
46 × 32 insertate	500	800	310	820	20	30
impregnate	700	1000	410	820	20	30

Apăsarea minimă este dată pentru corcanele cu diamante cu granulație mare, iar apăsarea maximă pentru corcanele cu diamante cu granulație mică.

Uzura prin șocuri are loc atunci când se forează în terenuri eterogene, fisurate, cu alternanțe de roci tari și moi și în strate cu înclinare mare.

În afară de proprietățile fizico-mecanice ale rocilor prin care se forează, uzura corcanelor cu diamante mai este cauzată de construcția și metoda de executare a coroanei ca și de regimul necorespunzător de lucru.

În mod special, regimul necorespunzător de lucru conduce la o uzură prematură a diamantelor cauzată în principal de: necurățirea tălpii găurii de sondă înainte de începerea carotajului, lucrul excentric al coroanei pe talpă, vibrații, introducerea carotierei cu viteză mare și izbirea ei pe talpă, arderea coroanei datorită lipsei de circulație a noroiului, folosirea unui noroi cu conținut mare de nisip etc.

Avantajele folosirii corcanelor cu diamante. Față de corcanele cu aliaje dure, cele cu diamante realizează o viteză mecanică de 2—3 ori mai mare; uzura diamantelor într-un timp mai îndelungat mărește durata de lucru pe talpă, dând posibilitatea carotajului în marșuri lungi până la 6—8 m; asigură un recuperaj mult mai mare a carotelor; asigură o bună verticalitate a găurii de sondă, iar costul pe metru forat este mai mic ca urmare și faptului că după uzura coroanei diamantele rămase pot fi recuperate.

c. **Alezoare și lărgitoare cu diamante.** Deasupra coroanei sau sapei se intercalează, în forajul cu coroane cu diamante, un *manșon alezor* care are rolul de a aleza gaura de sondă corectînd-o și calibrînd-o. În felul acesta se protejează coroana de uzură la diametrul exterior.

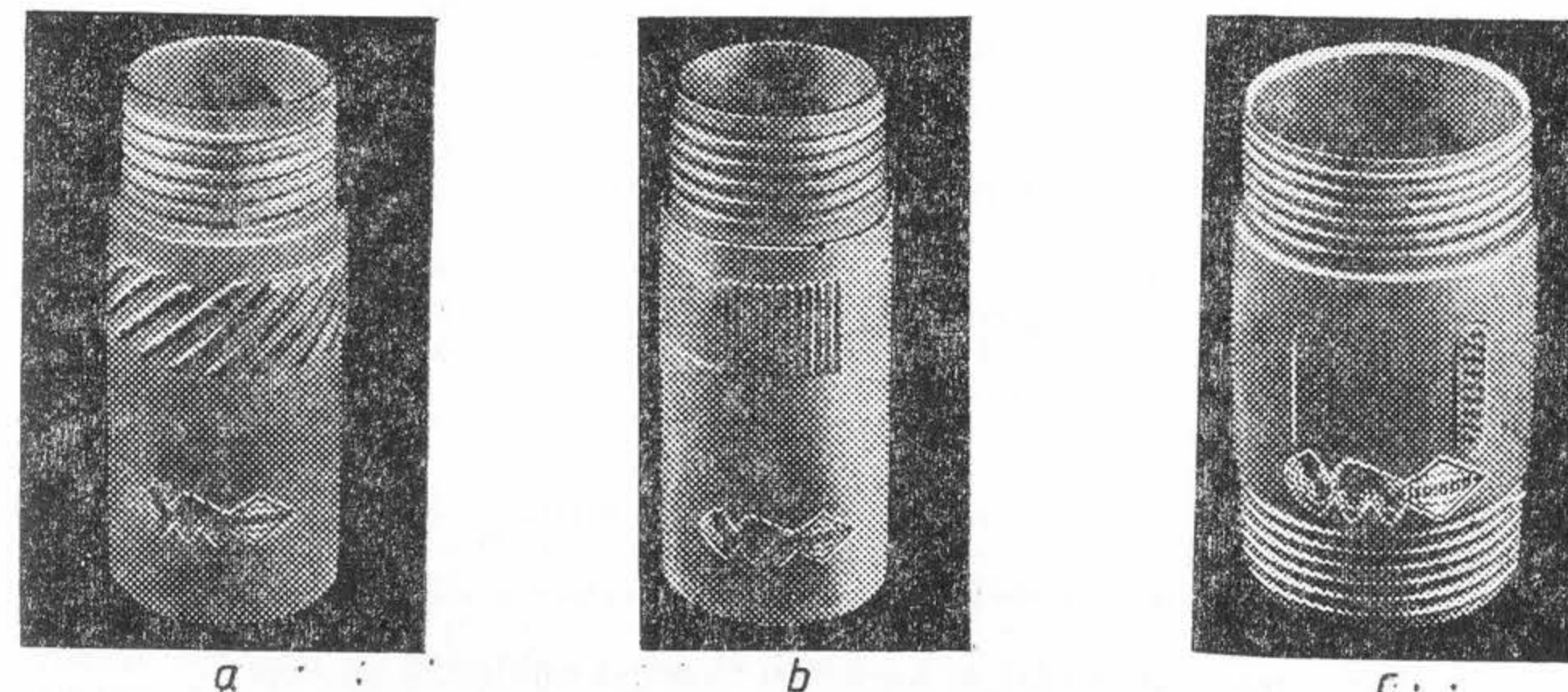


Fig. XI.76. Alezoare cu diamante:

a - alezor cu inele insertate pe nervuri spirale; b - alezor cu inele insertate pe nervuri verticale; c - alezor cu segmente.

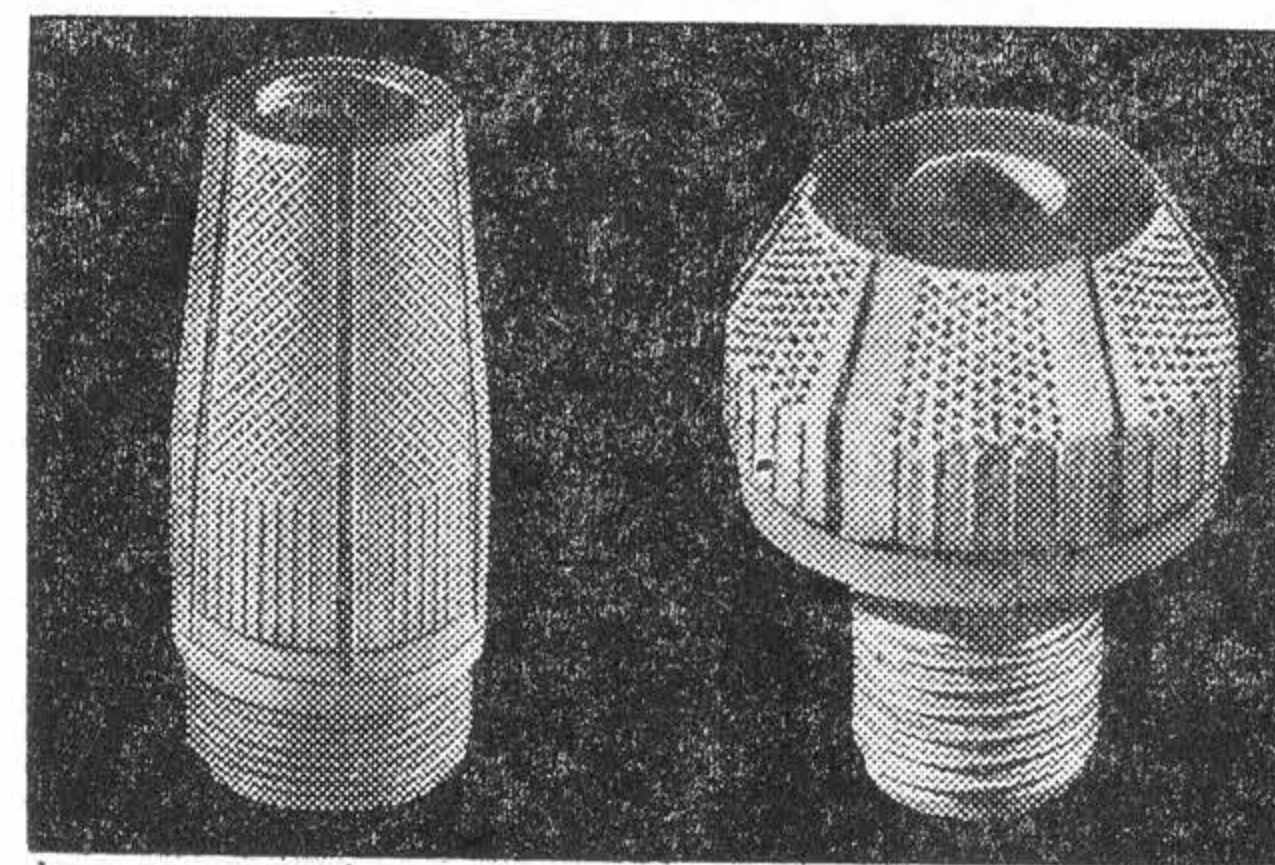


Fig. XI.77. Lărgitoare cu diamante.

Există mai multe tipuri constructive: *alezoare cu inele, cu segmente* etc. (fig. XI.76). Diametrul alezoarelor este dat în tabelele XI.9 și XI.15.

Lărgitoarele se utilizează în scopul lărgirii găurii de sondă, de la un diametru la altul. Ele pot fi conice, lungi, scurte etc. (fig. XI.77).

3.4. SPĂLAREA GĂURII DE SONDĂ FLUIDUL DE FORAJ

3.4.1. ROLUL ȘI PROPRIETĂȚILE FLUIDULUI DE FORAJ

Curățirea continuă a tălpii găurii de sondă și evacuarea detritusului se face, în forajul rotativ, cu ajutorul fluidului de foraj. Pentru a putea îndeplini această funcțiune, fluidul pompat în gaura de sondă trebuie să țină în suspensie particulele de rocă, iar când acesta a ajuns la suprafață să depună particulele pe fundul jgheburilor astfel ca acestea să se pompează din nou în gaura de sondă să fie curat.

În afară de rolul de spălare și evacuare a detritusului, fluidul de foraj mai îndeplinește și alte funcții în procesul de foraj, ca:

- răcirea sapei sau coroanei în timpul lucrului;
- colmatarea pereților găurii de sondă;
- menținerea presiunii hidrostatice în gaura de sondă, necesară pentru a preveni erupțiile libere de țitei, gaze sau alte fluide;
- lubrifierea garniturii de foraj, a lagărelor sabelor cu role sau a lagărelor carotierelor duble;

- înmuierea rocii în care se forează și ușurarea sfărâmării acesteia;
- reducerea frecării materialului tubular de pereții găurii de sondă.

În funcție de condițiile geologice, structura și textura rocilor traversate, prezența sau absența, presiunea și compoziția apelor traversate, condițiile de procurare a apei tehnologice, costurile substanțelor chimice și tehnologia de foraj adecvată pentru obținerea unui recuperaj și unei viteze de lucru maxime, se pot folosi următoarele fluide: apă; fluide pe bază de apă și produse sintetice (apă și poliacrilamidă, apă și biopolimeri etc.) sau naturale (bentonită de bună calitate); fluide (clasice) pe bază de apă și argilă; fluide negre (pe bază de produse petroliere — motorină și asfalt oxidat); aer; gaze; fluide spumate și aerate; apă aerată.

În timpul forajului elementele active ale unelei tăietoare se uzează, ca rezultat al încălzirii excesive cauzată de frecarea dintre rocă și unealta tăietoare. Pentru a înlătura încălzirea ca și pentru ungerea garniturii de foraj și a elementelor active ale unelei tăietoare este necesar să se stabilească debitul optim al fluidului de foraj, în funcție de forma și dimensiunile sculei tăietoare.

La ieșirea înspre suprafață prin spațiul inelar dintre peretele găurii de sondă și garnitura de foraj, noroiul colmatează pereții găurii de sondă, formând o crustă subțire impermeabilă și destul de rezistentă, care asigură o susținere a pereților găurii de sondă, împiedicând surparea acestora și pierderea noroiului în stratele a căror presiune este mai mică decât presiunea noroiului.

Pereții găurii de sondă, ca urmare a presiunii litostatice, precum și a presiunilor din stratele transversale, se surpă ușor și uneori provoacă prinderea garniturii de foraj.

Fluidul de foraj prin greutatea sa asigură contrapresiunea necesară pe pereții găurii de sondă, evitând în acest fel surparea pereților găurii de sondă și pericolul erupțiilor în cazul când în stratele traversate sunt înmagazinate fluide sub presiune. În forajul de explorare, în mod obișnuit, se folosește ca fluid de foraj noroiul de foraj.

Prin componența sa, noroiul este un sistem compus dintr-un mediu dispersant continuu, constituit din apă și dintr-o fază dispersă discontinuă, formată din particule

solide dispersate în apă (suspensioizi) și particule coloidale (coloizi), reprezentând astfel un sistem eterogen polidispers, compus din minimum doi componenți: argila — fază dispersă și apă — mediul de dispersie.

În mod obișnuit noroiul rezultat din amestecul de argilă și apă conține particule solide mai mari, în stare de suspensie, numite *suspensioizi*, și particule foarte fine, numite *coloizi*. Acestea din urmă determină proprietățile de bază ale noroiului, ca: greutate specifică, vîscozitate, tixotropie, stabilitate, salinitate și conținut de nisip.

Determinarea acestor proprietăți se poate face direct la șantier sau în laborator.

Greutatea specifică a noroiului depinde de raportul dintre cantitatea de argilă și cantitatea de apă conținută în acesta. Ea reprezintă greutatea unui decimetru cub de noroi și se notează cu γ . Determinarea exactă a greutății specifice se face în laborator cu ajutorul *picnometru*.

Pentru citirea directă a greutății specifice a noroiului se folosește *hidrometrul* (densimetrul). Un astfel de aparat constă dintr-un corp de sticlă, prevăzut la partea superioară cu o scară gradată, iar la cea inferioară cu un pahar cu capac. După umplerea paharului cu noroi se închide capacul și apoi se introduce aparatul într-un vas cu apă. Diviziunea până în dreptul căreia areometrul este cufundat în apă indică greutatea specifică a noroiului (fig. XI.78). Pe șantier, pentru determinarea greutății specifice a noroiului este folosit cîntarul de noroi tip „Balanta” Sibiu (fig. XI.79). Se cîntărește un cilindru de tablă de 1-5 l. umplut cu noroi; greutatea dată de cîntar împărțită la numărul de litri de noroi dă greutatea specifică a noroiului. Un noroi obișnuit are greutate specifică de 1,12-1,30 daN/dm³.

Valoarea presiunii exercitate de fluidul de foraj asupra pereților și a tălpii găurii de sondă, datorită greutății sale specifice, se determină cu relația:

$$P = \gamma H \quad [\text{daN/cm}^2]$$

în care: H este înălțimea coloanei de fluid, m;

γ — greutatea specifică a fluidului, daN/dm³.

Pentru creșterea greutății specifice a noroiului, creștere impusă de anumite condiții de foraj, se adaugă materiale de îngreunare, ca de exemplu baritină (BaSO_4) a cărei greutate specifică este de 4,2 daN/dm³.

Mărirea greutății specifice este necesară cînd presiunea exercitată de noroiul de foraj este insuficientă pentru a echilibra presiunea formațiunilor traversate sau cînd trebuie mărită presiunea asupra pereților găurii de sondă pentru a împiedica surparea lor. Cantitatea de baritină sau de alt material de îngreunare se poate calcula cu relația:

$$G = V \cdot \gamma_3 \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_3 - \gamma_2}$$

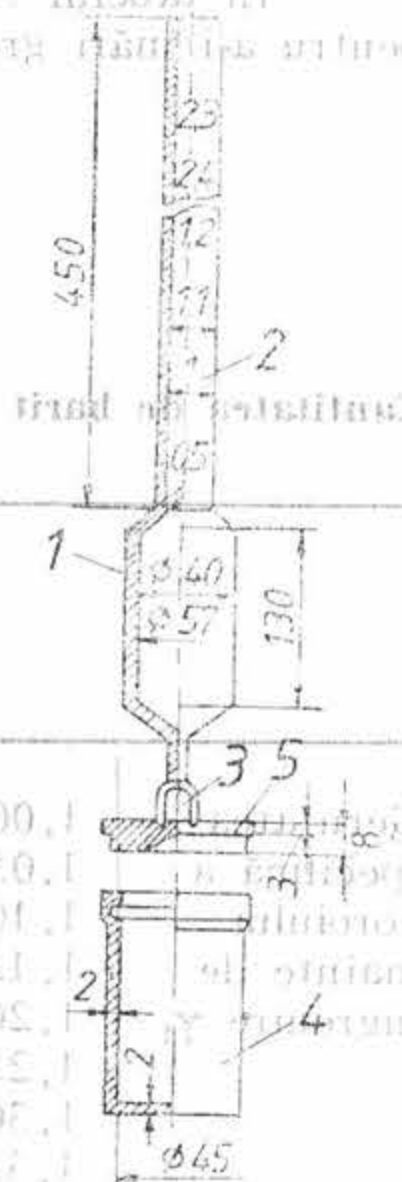


Fig. XI.78. Densimetru pentru noroi și ciment:

1 — corp cilindric; 2 — tijă gradată goală la interior; 3 — cîrlig; 4 — recipient de aluminiu; 5 — capacul recipientului de aluminiu.

Cu ajutorul acestor viscozimetre se determină viscozitatea noroiului, folosind metoda scurgerii sub presiune a fluidului printr-o țevă capilară care asigură o curgere laminară a acestuia.

Pentru calcularea indicelui de viscozitate se face în prealabil etalonarea aparatului cu apă distilată la $+20^{\circ}\text{C}$.

Tixotropia. Este proprietatea noroiului de a se transforma în gel când este în repaus și din gel în fluid atunci când este pus din nou în mișcare.

Datorită acestei proprietăți particulele de rocă sînt împiedicate să se depună atunci când din diferite cauze se întrerupe circulația, iar când noroiul a ajuns la suprafață nu eliberează particulele de detritus.

Tensiunea statică a deplasării, adică mărimea eforturilor de deplasare care provoacă mișcarea noroiului din stare de repaus, arată gradul de densitate al structurii formate.

Pentru determinarea ei se folosește aparatul SNS-2 sau viscozimetrul de tipul *Mac Michel*.

Stabilitatea. Este proprietatea datorită căreia noroiul nu separă apa pe care o conține. Datorită acestei proprietăți noroiul își păstrează densitatea aproape constantă pe întreaga înălțime a găurii de sondă. Stabilitatea noroiului are mare importanță în procesul de foraj. Un noroi lipsit de stabilitate eliberează apa în timpul circulației și aceasta pătrunde în stratele traversate, producînd surparea pereților găurii de sondă.

Filtrația. Prin filtrație se înțelege fenomenul de cedare a unei părți din apa de constituție a fluidului de foraj prin pereții poroși ai găurii de sondă, sub influența diferenței dintre presiunea fluidului de foraj și presiunea fluidului din strat. Ca urmare a procesului de filtrare a apei libere din fluidul de foraj, pe pereții găurii de sondă se depune o crustă.

Determinarea filtrării noroiului se face măsurînd apa liberă separată de noroi sau filtrația acestuia.

Filtrația se determină în laborator cu următoarele aparate:

— cu filtru de noroi de joasă presiune la presiunea de 7 at și la temperatura mediului ambiant (fig. XI.81);

— cu aparatul VM-6 la presiunea de 1 at și la temperatura mediului ambiant (fig. XI.82).

Un noroi de foraj corespunzător are filtratul de $8-12\text{ cm}^3$ în timp de 30 min și crusta (turta) de 1-2 mm.

Salinitatea. Conținutul în sare a noroiului, exprimat în procente, se numește salinitate.

La începutul forajului, noroiul are un conținut mic de sare, însă acesta poate crește brusc, în special atunci când se întîlnesc strate de apă sărată. Măsurarea salinității noroiului poate da indicații asupra adîncimii la care au fost întîlnite stratele respective, caracterului rocilor traversate și conținutului de cloruri și ioni de calciu, care influențează caracteristicile fluidului de foraj.

Conținutul de nisip. Determinarea conținutului procentual de nisip se face cu ajutorul unei fiole gradate, în care se toarnă 50 cm^3 de noroi, peste care se toarnă apă pînă la nivelul gradației de 500 cm^3 și se agită puternic. După trecerea unui minut se determină în partea de jos a fiolei, în centimetri cubi, cantitatea de nisip ce s-a sedimentat.

Determinarea conținutului de nisip se face de obicei prin următoarele metode: prin elutriere, prin cernere și elutriere, prin cernere și spălare pe sită.

Cunoașterea conținutului de nisip în noroiul de foraj este importantă întrucît o cantitate de nisip mai mare de 1% are o acțiune abrazivă puternică asupra instalației de foraj.

Indicele pH (potențialul de hidrogen). Este un parametru care dă informații asupra caracterului acid sau bazic al fluidului de foraj. El indică concentrația momen-

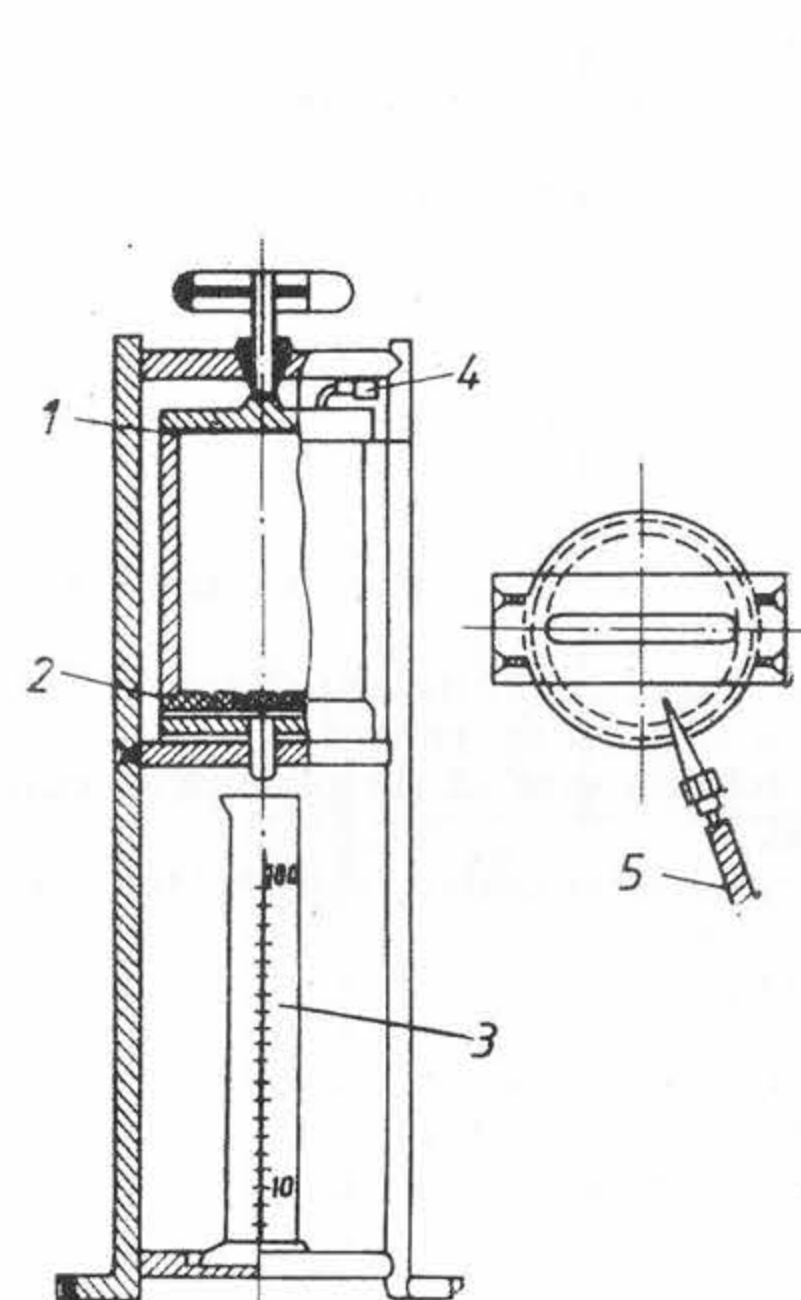


Fig. XI.81. Filtru de noroi de joasă presiune:

1 — garnitură; 2 — hirtie filtru; 3 — cilindru gradat; 4 — legătură cu butelia de aer comprimat; 5 — furtun de aer comprimat.

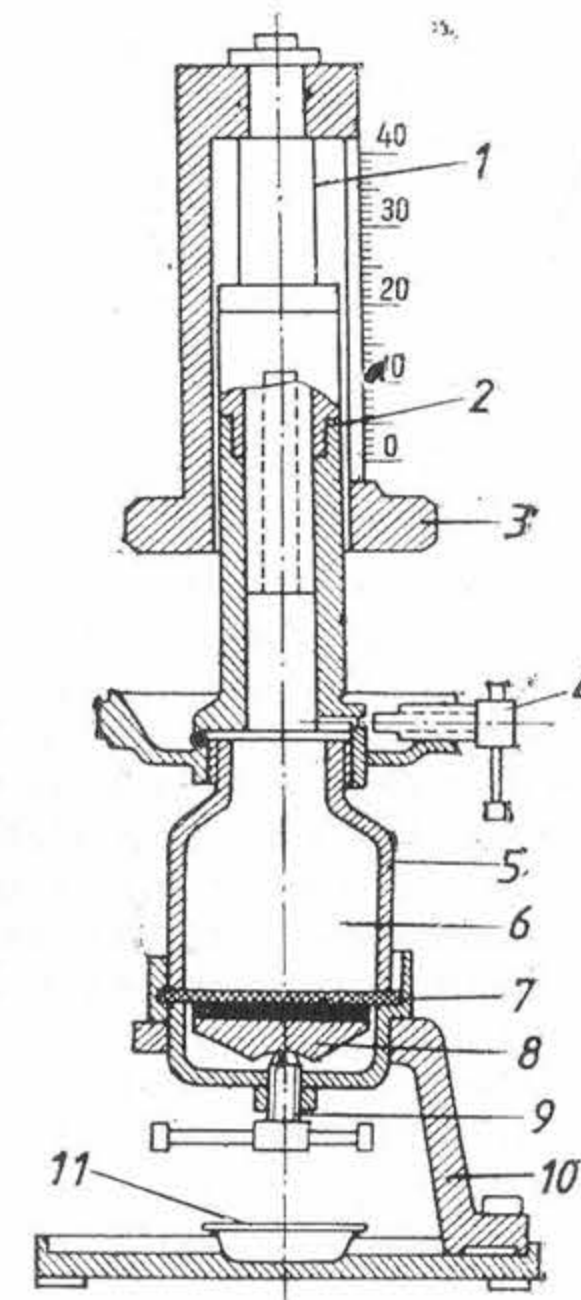


Fig. XI.82. Aparat de filtrație VM-6:

1 — piston; 2 — cilindru; 3 — scală gradată; 4 — robinet cu ac; 5 — celulă de filtrație; 6 — fluid de foraj; 7 — sită; 8 — supapă; 9 — șurub; 10 — suport metalic; 11 — vas de colectare.

tană în ioni liberi de hidrogen a soluției respective. O soluție este considerată acidă când are $\text{pH-ul} < 7$ și bazică când are pH-ul cuprins între 7 și 14. pH-ul se măsoară în laborator prin metode clorometrice sau electrometrice. Noroiul de foraj trebuie să aibă pH-ul mai mare de 7.

Factorii care influențează proprietățile fluidului de foraj. În timpul forajului fluidul de foraj (noroiul de foraj) își modifică caracteristicile inițiale datorită pe de o parte detritusului pe care îl transportă la suprafață și care prin fărîmîtare se dispersează în masa fluidului într-o oarecare măsură, iar pe de altă parte datorită naturii și caracteristicilor formațiunilor traversate și a temperaturii ridicate din gaura de sondă.

Efecte de contaminare a fluidului de foraj au argila, sarea, gipsul, gazele și conținutul ridicat de nisip.

Creșterea conținutului de argilă determină creșterea viscozității și tixotropiei noroiului, făcându-l greu pompabil și măbind pericolul de prindere a garniturii de foraj.

La traversarea formațiunilor cu intercalații de gips sau anhidrit, creșterea conținutului de Ca produce, de asemenea, creșterea viscozității și a tixotropiei.

Sarea are, de asemenea, drept consecință modificarea viscozității, tixotropiei și a filtrației.

La traversarea formațiunilor nisipoase sau marnelor nisipoase conținutul în nisip crește măbind abrazivitatea noroiului și permeabilitatea crustei de pe pereții găurii de sondă.

În cazul când greutatea specifică a noroiului de foraj este mai mică decât presiunea stratului, gazele pătrund în masa noroiului, măbind volumul acestuia și micșorându-i greutatea specifică.

3.4.2. PREPARAREA NOROIULUI DE FORAJ

Noroiul se prepară din amestecul argilei sau marnei cu apă în diferite proporții, sau cu amulsie de produse petroliere.

Amestecarea se face manual sau mecanic, cu ajutorul malaxoarelor de noroi sau în pînii identice cu cele folosite la prepararea laptelui de ciment.

Condiția ce se cere argilei sau marnei folosite este să fie plastică și curată, să nu conțină pietriș, nisip sau materii organice.

Pentru condițiile normale de lucru, noroiul se consideră satisfăcător cînd îndeplinește următoarele caracteristici:

- viscozitatea cuprinsă între 2 și 4 cP;
- filtrația în limitele 8–12 cm³/24 ore;
- decantarea în 24 de ore să nu fie mai mare de 5%;
- conținutul de nisip să nu fie mai mare de 2–3%.

Greutatea specifică nu constituie o proprietate determinantă a noroaielor. Noroaiile pot avea aceeași greutate specifică, dar pot fi complet diferite în privința proprietăților lor.

Caracteristicile medii pentru un fluid bun de foraj sint date în tabelul XI.18.

În timpul forajului pot avea loc *pierderi de circulație* datorită porozității prea mari a rocilor străbătute, fisurilor, geodelor, golurilor subterane etc.

Pentru prevenirea pierderii de noroi se mărește viscozitatea noroiului prin adăugare de var, sticlă lichidă sau ciment.

În cazul pierderilor intense de noroi se întrebuițează *gelcimentul* — o soluție de ciment cu marnă foarte coloidală, adăugîndu-se 1 parte marnă la 100 părți ciment.

Pentru *prevenirea dărimării pereților găurii de sondă* se stabilește un anumit regim de foraj care să asigure o viteză maximă de avansare și să înlăture pe cît posibil opririle neproductive, iar noroiul de foraj folosit să asigure tot timpul o presiune hidrostatică cu puțin mai mare decât presiunea stratelor străbătute. Este indicat să se folosească un noroi cu o viscozitate de 25–30 s, iar filtrația să fie în jurul a 100 cm³/24 ore.

Pentru îmbunătățirea calității și reglarea proprietăților lor în anumite limite, noroaiile se tratează cu diverși reactivi chimici. Astfel, un reactiv eficient pentru scăderea viscozității și filtrației noroiului este cel combinat din lignit, extras de sulfit-celuloză și sodă caustică.

Tabelul XI.18
Caracteristicile medii pentru fluidul de foraj

Caracteristici	Fluide pe bază de masă					
	Cu apă și argile	Cu emulsie de produse	Cu amidon	Cu baza de silicat de sodiu	Cu baza de var	Fluide negre
Greutatea specifică, daN/cm ³	1, 15–1, 20	1, 10	1, 15–1, 20	1, 45	1, 15–1, 20	0, 90–0, 95
Viscozitatea, s	30–35	54–55	80	mare	35–40	60
Filtrația, cm ³	sub 12	10	5	12	5	maximă
Turta, mm	3	2	1	2	1	urme
pH	8–9	9–10	sub 11	13	12	—

Influența greutății specifice și a viscozității noroiului. Apa satisface curățirea tălpii găurii de sondă, evacuarea detritusului și răcirea sapei numai în rocile compacte nefisurate (marmure, unele calcare, bazalte etc.), unde rezultă un detritus fin. Ea nu poate însă menține în suspensie particulele de detritus mai puțin fine în timpul opririi circulației, din care cauză are loc depunerea acestora și prinderea garniturii, și nu se realizează colmatarea pereților. Datorită acestor neajunsuri, în majoritatea cazurilor apa a fost înlocuită cu noroi care, prin greutatea specifică și prin viscozitatea sa deosebite de ale apei, satisface cerințele ce se ivesc în procesul de foraj.

Folosirea unui noroi cu o greutate specifică și viscozitate prea mari au un efect, dăunător asupra vitezei mecanice de foraj, se gazeifică ușor, se pompează greu și are tendința de a se lipi de prăjinile de foraj.

Pentru preîntâmpinarea acestor neajunsuri, practica a dovedit că este indicat să se folosească noroi cu o greutate specifică și viscozitate mică.

Influența circulației asupra vitezei de foraj. O circulație necorespunzătoare a noroiului de foraj influențează viteza de foraj în sensul că roca neevacuată în totalitatea ei opune o rezistență suplimentară sapei, datorită căreia viteza mecanică de foraj scade.

Pe baza rezultatelor de teren s-a putut stabili o relație între debitul de noroi și viteza mecanică de foraj.

Relația este dată de formula:

$$v_m = \frac{Q}{a + b \cdot Q}$$

în care: v_m este viteza mecanică de foraj; Q — debitul de noroi; a și b sînt constante ce depind de proprietățile rocilor forate, debitul noroiului și dimensiunile spațiului inelar.

Tot pe bază de experiență s-a stabilit că la viteze mici ale curentului ascendent ($v = 0,45-0,50$ m/s), viteza mecanică de foraj crește proporțional cu Q , deci $v_m = f(Q)$.

Această relație este însă valabilă numai atunci cînd viteza curentului ascendent este de 0,5 m/s. S-a constatat că dacă Q este suficient pentru spălarea tălpii, mărirea lui în continuare influențează foarte puțin viteza mecanică v_m .

În afară de debitul de noroi, viteza mecanică de foraj, v_m , mai este influențată în mare măsură și de viteza noroiului de spălare prin orificiile sapei.

Experiențele arată că debitul Q accelerează mult forajul numai în cazul cînd orificiile de spălare sînt aproape de talpă, deoarece atunci jetul de noroi poate să atingă cu putere talpa găurii de sondă și să acționeze activ asupra ei. Pentru o spălare perfectă a tălpii găurii de sondă, jetul trebuie să exercite o presiune de 5–6 daN/cm².

În concluzie, viteza mecanică de foraj depinde foarte mult de gradul de spălare a tălpii de rocă forată. Spălarea intensă a tălpii se obține prin apropierea la maximum a orificiilor de spălare la talpă.

Substanțe folosite pentru corectarea proprietăților noroiului de foraj. Se folosesc:

Substanțe pentru îngreunare: baritina (BaSO_4) sub denumirea tehnică de *barită* este folosită în exclusivitate pe șantierul din România.

Substanțe reducătoare de viscozitate și de filtrare:

— *reactivul de lignit sau humatul de sodiu* — soluție coloidală obținută dintr-un amestec de lignit măcinat și o soluție de sodă caustică;

— *rășini sintetice solubile* — preparate din acizi crezosulfonici sau fenosulfonici și aldehydă formică;

— *coloizi organici:* amidonul, nitratul de carbon din grupa polizaharidelor și carboximetilceluloza (CMC).

Substanțe rezistente la temperaturi înalte:

— lignosulfonatul de fier și crom sau ferocromlignosulfonatul (FCLS);

— lignosulfonatul de crom sau cromlignosulfonatul (CLS);

— humatul de crom (cromlignitul);

— poliacrilamida.

Substanțe alcaline și alcalino-pămîntoase:

— soda calcinată (Na_2CO_3) — se folosește la combaterea contaminării noroiului de foraj cu calciu și pentru ridicarea pH-ului;

— bicarbonatul de sodiu (NaHCO_3) — se folosește la combaterea contaminării noroiului cu ciment;

— soda caustică (NaOH);

— varul.

3.4.3. CURĂȚIREA NOROIULUI DE FORAJ, STABILIREA DEBITULUI ȘI PRESIUNII DE CIRCULAȚIE

Curățirea noroiului se face prin depunerea detritusului în sistemul exterior de circulație format din jgheaburi, batalele de decantare și de tragere.

O mai bună curățire se realizează cu ajutorul hidrociclonului, care se intercalează în sistemul de circulație a fluidului de foraj.

Debitul de circulație. La determinarea debitului de circulație trebuie să se cunoască programul de construcție al găurii de sondă, componența garniturii de foraj și viteza ascensională a noroiului. Pe baza experienței de șantier, viteza ascensională se ia de 0,3–0,6 m/s. Ea trebuie să crească odată cu creșterea cantității de detritus ce se află în curentul ascensional, ca urmare a creșterii vitezei mecanice.

Pentru calculul debitului de noroi se folosește relația:

$$Q_n = F \cdot V_a = \frac{3,14}{4} (D^2 - d^2) \cdot V_a = 0,785 V_a (D^2 - d^2) \quad [\text{l/min}]$$

în care: F este secțiunea spațiului inelar, dm²;

V_a — viteza ascensională, dm/min;

D — diametrul găurii de sondă, dm;

d — diametrul exterior al prăjinilor de foraj, dm.

Presiunea de circulație. Noroiul este pompat în gaura de sondă cu o anumită presiune.

Căderile de presiune mai importante ce se produc în gaura de sondă sînt: căderi de presiune în carotieră sau sapă, în garnitura de foraj, în spațiul inelar și căderea de presiune ca urmare a diferenței între greutatea specifică ale noroiului în curent ascendent și descendent.

Aceste căderi nu trebuie să depășească presiunea pentru care este construită pompa de noroi. Puterea de acționare a pompei se calculează la presiunea maximă, cu relația:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{75 \eta} \text{ [CP]}$$

în care: Q este debitul pompei, m^3/s ;

H — presiunea, $m H_2O$;

η — randamentul pompei, $0,8-0,9$;

γ — greutatea specifică a fluidului de foraj, daN/dm^3 .

Volumul batalelor. Volumul batalului de decantare este de circa $1 m^3$, iar volumul batalului de tragere se determină cu relația:

$$V = C \cdot V_s \text{ [m}^3\text{]}$$

în care: V_s este volumul găurii de sondă la adâncimea finală, m^3 ;

C — coeficient ce depinde de roca traversată și care are valori de $1,5-2$.

Lungimea jgheabului. Se determină cu relația:

$$L = \frac{W}{b \cdot k} \text{ [m]}$$

în care: W este cantitatea volumetrică a particulelor de detritus depuse pe jgheab, m^3/min ;

k — coeficientul capacității de curățire, egal cu $0,0003 m/min$;

b — lățimea jgheabului, m .

În practică lățimea se ia de $20 cm$, înălțimea de $15 cm$, iar lungimea între $1,5-2 m$.

Volumul batalelor trebuie să fie de două ori mai mare decât volumul găurii de sondă corespunzătoare adâncimii finale, iar lungimea jgheaburilor de circa $15m$.

3.5. OPERAȚII DE MANEVRĂ ȘI MATERIAL TUBULAR

Operațiile de manevră constau în introducerea și extragerea garniturii de foraj pentru înlocuirea sapei sau coroanei de foraj precum și pentru extragerea caratelor și prelungirea garniturii de foraj cu noi prăjini, pe măsura avansării forajului.

Materialul tubular folosit în tehnica forajului constă din prăjini de foraj și burlane, cu elementele de legătură respective.

3.5.1. PRĂJINI DE FORAJ

Transmiterea energiei necesară săpării de la agregatele de forță la uncalta tăietoare (sapă sau coroană) se face prin intermediul garniturii de foraj.

În tehnica forajului, ansamblul format din prăjina de antrenare, prăjinile de foraj, prăjinile grele, reducțiile, niplurile, răcordurile și sapa sau cărotiera formează garnitura de foraj.

Prăjina de antrenare. Face legătura între capul hidrolic și prăjinile de foraj și asigură transmiterea mișcării de rotație de la capul de rotire al agregatului de foraj sau de la masa totală (în cazul forajului cu masa rotativă) la garnitura de prăjini.

După secțiunea părții de antrenare, prăjinile de antrenare (fig.XI.83) se fabrică din țevi laminate, în patru forme: cu partea de antrenare hexagonală, pătrată, triunghiulară și circulară.

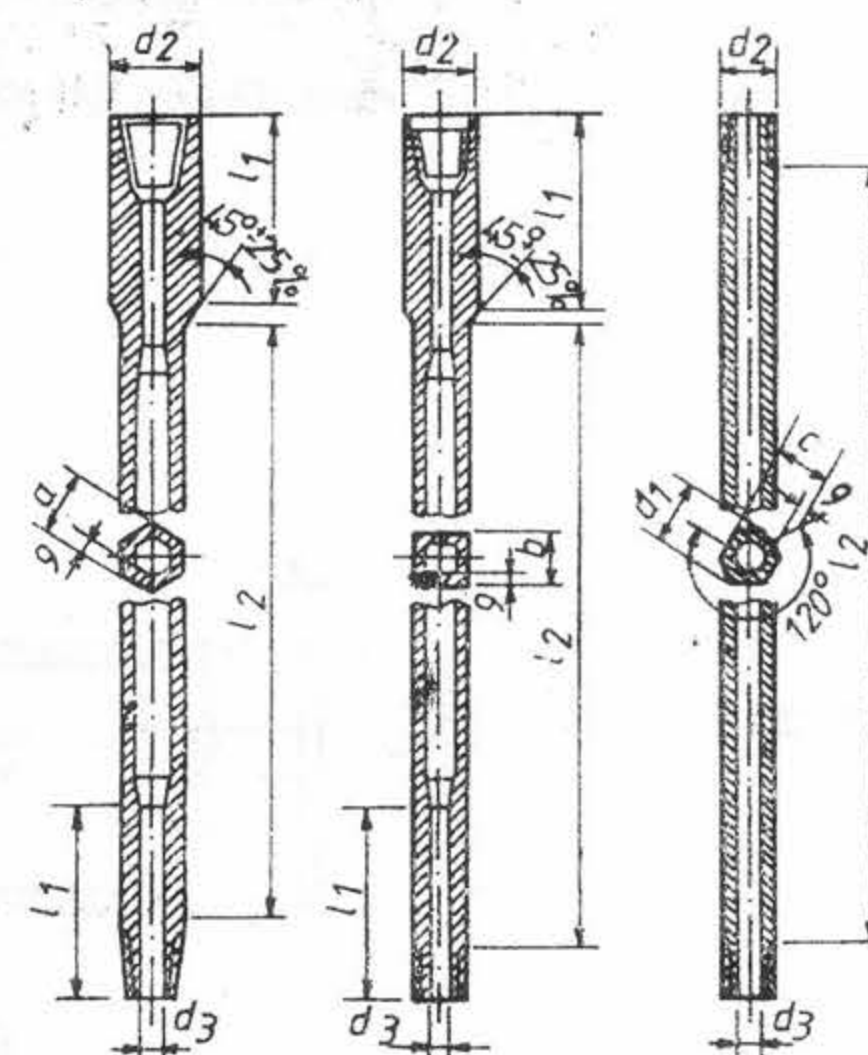


Fig. XI.83. Prăjini de antrenare din țevi laminate.

Lungimea prăjinii de antrenare este cu $1-2 m$ mai lungă decât a prăjinilor obișnuite de foraj.

În tabelul XI.19 se dau dimensiunile, în mm , a prăjinii de antrenare SzHT cep-cep 47, conform STAS 2606-80.

Tabelul XI.19

Prăjină de antrenare Sz HT cep-cep 47 STAS 2606-80

Forma prăjinilor	Dimensiunea nominală a prăjinii de antrenare	a $\pm 1\%$	d_2 $\pm 1,5$	d_3 $\pm 1,0$	g $+25\%$	l_1 min.	l_2 ± 100	r^*	Filete	
									La partea superioară	La partea inferioară
HT	47	4	64	22	10	220	5200	$\pm 4 \dots 60$	Mufă R 50-st STAS5291-56	Cep

* r este raza de rotunjire a vîrfurilor secțiunilor hexagonală și pătrată.

Prăjinile de foraj propriu-zise. Se caracterizează prin diametrul exterior uniform, condiție necesară pentru ca acestea să poată trece prin dispozitivul de rotire al sondezei. Ele se fabrică în două tipuri:

— prăjini de foraj cu nipluri de legătură (fig. XI.84);

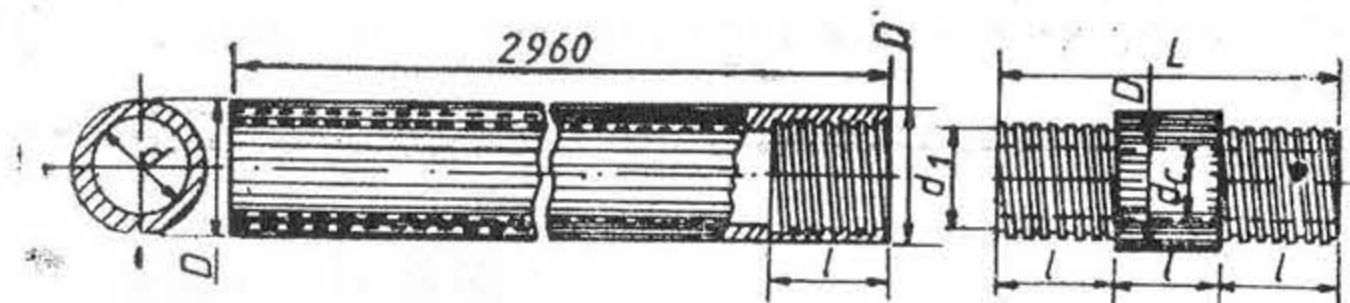


Fig. IX.84. Prăjini cu niplu pentru forajul cu sondeze.

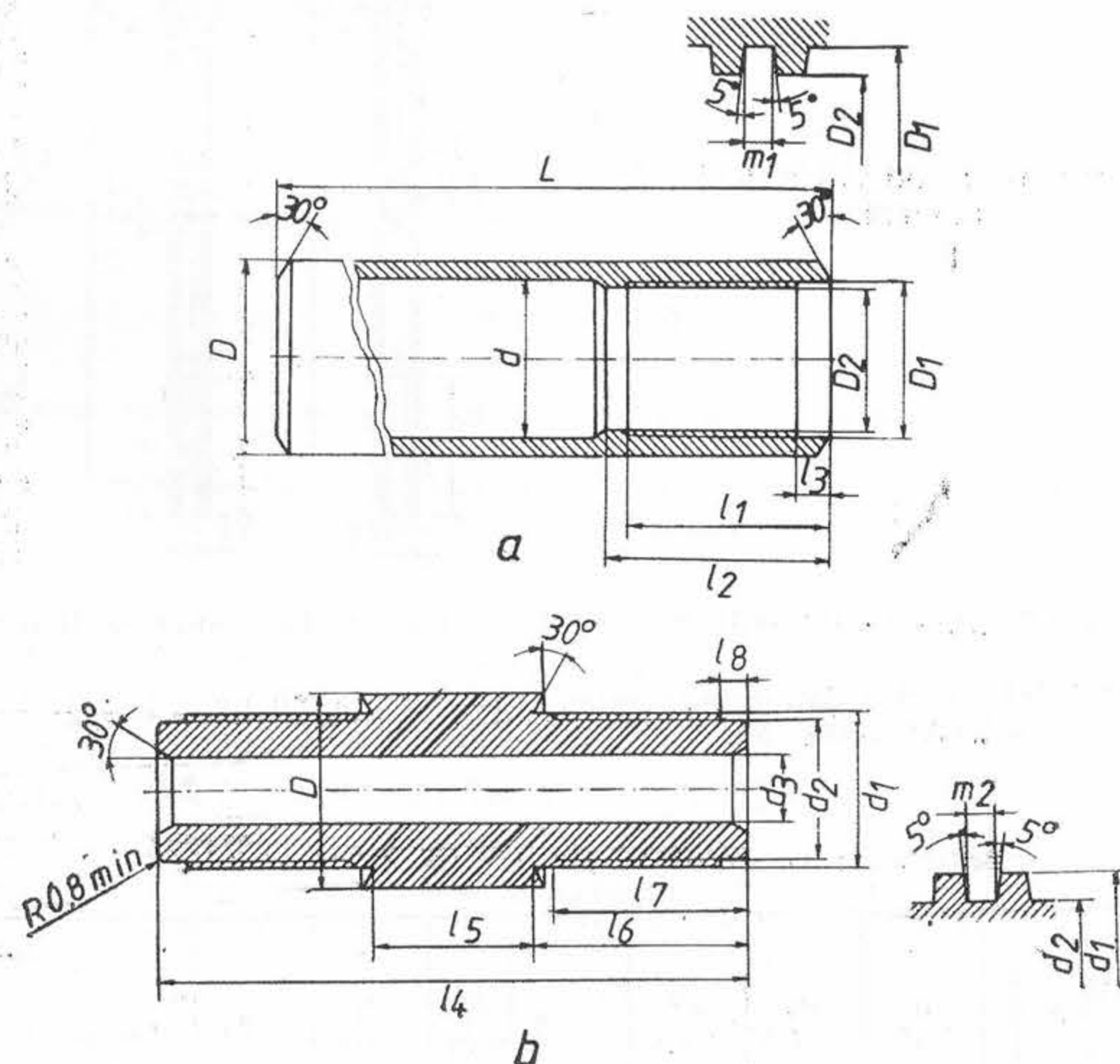


Fig. XI.85. Prăjină de foraj (a) și niplu de legătură (b) pentru sondeze (STAS din 1968/80).

— prăjini de foraj cu racorduri speciale sau cu mufe de legătură normale și prin mufă și cep din corpul prăjinii.

Prăjinile de foraj cu nipluri sînt din seria W și au prevăzute la ambele capete mufe, asamblarea lor făcîndu-se cu ajutorul niplurilor. Niplurile sînt prevăzute la capete cu filet dreptunghiular cu patru spire pe țol, iar la mijloc cu două porțiuni dreptunghiulare (tăieturi) ce servesc ca locaș pentru cheile folosite la înșurubare și deșurubare (fig. XI.85).

Dimensiunile prăjinilor și niplurilor, conform STAS 1968—80, sînt prezentate în tabelele XI.20 și XI.21.

Niplurile de legătură sînt de tip A — cep-cep și de tip B — mufă-cep. În practică se recomandă folosirea combinată a niplurilor tip A și B, pentru a preveni uzura prematură a filetului de la mufa prăjinii, datorită înșurubărilor repetate în timpul operațiilor de introducere și extragere a garniturii de foraj.

Tabelul XI.20

Dimensiunile prăjinilor de foraj cu mufă la ambele capete, pentru sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul					
		RW	EW	AW	BW	NW	HW
		Diametrul nominal					
		28	35	44	54	67	89
D	max. min.	27,89 27,76	35,05 34,92	43,89 43,64	54,23 53,98	66,93 66,68	89,28 88,90
d	max.	18,26	25,40	34,14	44,45	57,15	77,77
D_2	max. min.	18,95 18,90	23,95 23,90	31,88 31,83	38,94 38,89	51,71 51,66	72,24 72,19
D_1	max. min.	21,67 21,62	27,13 27,07	35,05 35,00	42,93 42,88	56,49 56,44	77,06 77,01
L	max. min.	3020 3019	3015 3014	3017 3016	3004 3003	3004 3002	2991 2990
l_1	min.	36,50	39,67	47,62	57,15	69,85	82,55
l_2	min.	39,67	44,45	54,00	63,50	76,20	90,47
l_3	max. min.	6,60 6,10	8,18 7,67	9,80 9,27	9,80 9,27	9,80 9,27	9,80 9,27
m_1	max. min.	3,18 3,10	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11
pași pe 25,4 mm		4	3	3	3	3	3

Prăjinile de foraj cu racorduri speciale sau cu mufe sînt utilizate la forajul în carotaj mecanic continuu. Frecvent sînt folosite prăjinile cu diametrul de 50 mm, 60,3 mm și 73 mm (tabelul XI.22).

Ele se execută cu capetele îngroșate îmbinate prin racorduri speciale și la mufele prăjinilor (fig. XI.86).

Racordurile speciale (fig. XI.87) se compun din două piese:

— o mufă specială care are la un capăt un filet normal interior pentru îmbinarea cu prăjina, iar la celălalt capăt un filet special interior pentru îmbinarea cu cepul special;

— un cep special prevăzut la un capăt cu filet normal interior pentru îmbinarea cu prăjina, iar la celălalt capăt un filet special exterior pentru îmbinarea cu mufa specială.

Dimensiunile racordurilor speciale sint date în tabelul XI.23.

Tabelul XI.21

Nipluri de legătură pentru prăjini de foraj tip W pentru sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul					
		RW	EW	AW	BW	NW	HW
		Diametrul nominal					
		28	35	44	54	67	89
D	max. min.	27,89 27,76	35,05 34,92	43,89 43,64	54,23 53,98	66,93 66,68	89,28 88,90
d_1	max. min.	21,56 21,51	26,97 26,92	34,90 34,85	42,77 42,72	56,34 56,29	76,91 76,86
d_2	max. min.	18,85 18,72	23,80 23,67	31,72 31,60	38,79 38,66	51,56 51,44	72,09 71,96
d_3	max. min.	10,57 10,19	11,35 10,97	16,13 15,75	19,30 18,92	35,18 34,80	60,71 60,32
l_4	informa- tiv	95,2	117,5	133,4	165,1	190,5	225,5
l_5	max. min.	28,45 27,94	33,78 33,27	32,89 32,38	44,58 44,07	45,08 44,58	57,40 56,90
l_6	max. min.	33,78 33,27	42,21 41,71	50,65 50,14	60,63 60,12	73,08 72,57	84,43 83,92
l_7	min.	28,58	36,50	44,45	53,98	66,68	79,38
l_8	max. min.	1,83 1,32	5,00 4,50	6,60 6,10	8,18 7,67	9,80 9,27	9,80 9,27
m_2	max. min.	3,18 3,10	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11	4,22 4,11
pași pe 25,4 mm		4	3	3	3	3	3

Tabelul XI.22

Caracteristicile prăjinilor de foraj utilizate la instalațiile de mică adâncime (sondeze)

Dimensiunea nominală [mm]	Diametrul		Lungimea unei bucăți [mm]	Masa pe metru [kg/m]	Secțiunea [cm ²]	Volum interior pe metru [dm]	Forța de tracțiune la $\sigma = 3000$ [daN/cm ²]
	Exterior [mm]	Interior [mm]					
73	73,0	59,0	5,5... 7,2 8,2... 9,2 11,6... 13,7	12,85 16,47	14,5 18,43	2,7 2,2	43 500 55 290
		31,8	431	20	—	—	—
60,3	60,3	46,1	5,5... 7,2 8,2... 9,2 11,6... 13,7	10,71	11,86	1,6	35 580
		25,4	3; 4,5; 6	7,75	8,63	1,09	25 890
50	50,0 64,0	37,5 27,0	1,5; 3; 4,5	7,0	7,85	1,1	23 550
50	50,0 52,0	39,0 22,0	1,5; 3; 4,5	5,2	5,82	0,78	17 460
42	42,0 44,0	32,0 16,0	1,5; 3; 4,5	3,4	4,29	0,44	12 870
33,5	33,5 34,0	24,0 14,0	1,5; 3; 4,5				

Între prăjinile folosite în forajul cu sondeze figurează și cele și pentru carotiera introductibilă (fig. XI.88), care au diametrul interior mai mare și sînt netede (nu au ramforsări în interior și exterior), pentru a asigura manevrarea cu ușurință a tubului carotier. Ele fac parte din seria Q și sînt îmbinate prin mufă și cep din corpul prăjinii, prin filet conic cu profil trapezoidal. În tabelul XI.24 sînt prezentate dimensiunile prăjinilor din seria Q fabricate de firma suedeză Longyear și utilizate în țara noastră.

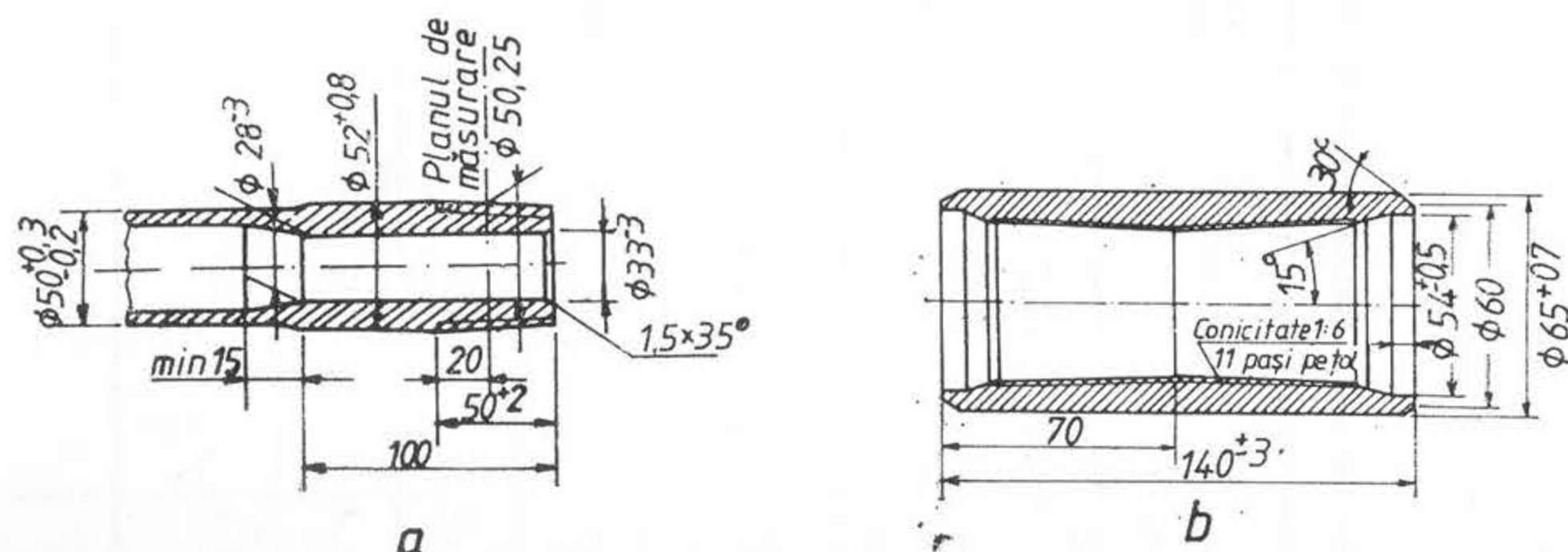


Fig. XI. 86. Prăjină de foraj pentru sondeze Ø 50 mm (a) și mufa ei (b).

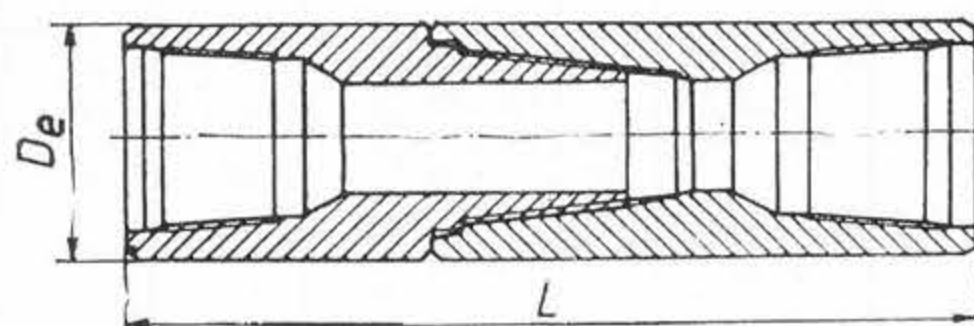


Fig. XI.87. Racord special (STAS 325—80)

Dimensiunile racordurilor speciale STAS 325-80

Diametrul nominal al racordului		Diametrul exterior al racordului [mm]	Lungimea racordului împerecheat [mm]
mm	in		
60,3	2 3/8 N	79,4	404
73,0	2 7/8 N	95,2	431
88,9	3 1/2 N	108,0	451
114,3	4 1/2 N	139,7	508
139,7	5 1/2 N	171,4	559
168,3	6 5/8 N	196,8	613
88,9	3 1/2 L	117,2	455
101,6	4 L	133,4	505
114,3	4 1/2 L	146,0	507
139,7	5 1/2 L	177,8	553
168,3	6 5/8	203,2	611

Tabelul XI.23

Prăjinile grele. În forajul rotativ întreaga garnitură trebuie susținută, deci supusă unor eforturi de tensiune, și numai o parte din greutatea ei, partea inferioară, trebuie să apese pe sapă, deci să fie expusă compresiunii.

În acest scop, între prăjinile obișnuite de foraj și sapă se intercalează prăjini grele (fig. XI.89), care servesc pentru apăsarea pe sapă, evitînd astfel compresiunea în prăjini.

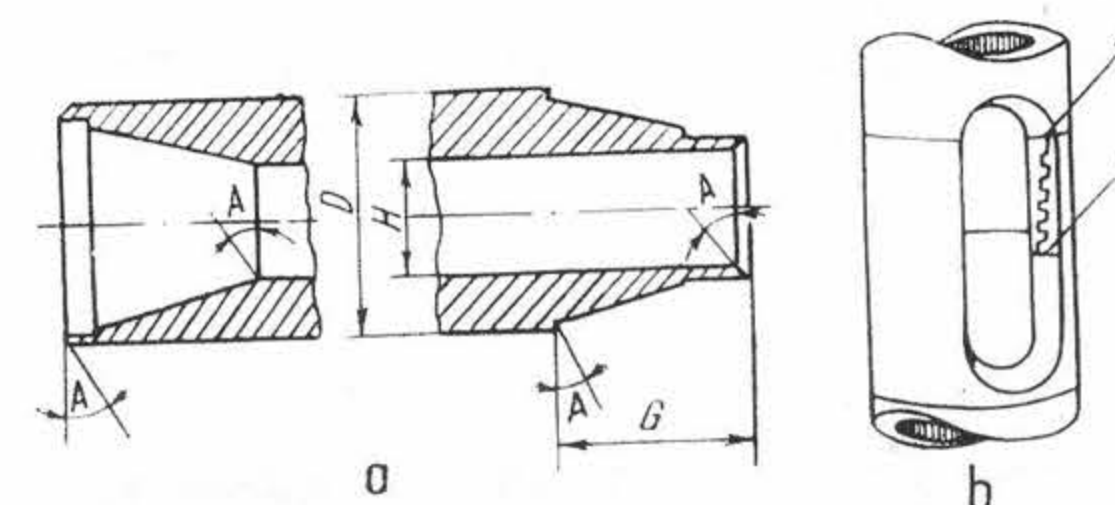


Fig. XI. 88. Prăjină din seria Q pentru carotiere introductibile :

a — prăjină (secțiune); b — vedere de ansamblu a îmbinării; A și B — punctele unde se nasc cele mai mari tensiuni în timpul forajului.

Tabelul XI.24

Dimensiunile prăjinilor din seria Q, fabricate de firma Longyear

		AQ		BQ		NQ		HQ	
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
D	maxim	1,756	44,60	2,197	55,80	2,760	70,10	3,510	89,15
	minim	1,750	44,45	2,187	55,56	2,750	69,85	3,500	88,90
H	maxim	1,381	35,08	1,818	46,18	2,380	60,45	3,071	78,02
	minim	1,375	34,92	1,808	45,92	2,370	60,20	3,062	77,79
G		1,625	41,27	1,750	44,45	1,750	44,45	1,750	44,45
A		15°		15°		15°		15°	

		ACQ		BCQ		NCQ		HCQ	
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
Diam. exterior		1 3/4	44,5	2 3/16	55,6	2 3/4	69,9	3 1/2	88,9
Diam. interior		1 17/16	36,5	1 7/8	47,6	2 7/16	61,9	3 3/16	80,9
Diam. interior cep și mufă		1 3/8	34,9	1 13/16	46,0	3 3/8	60,3	3 1/16	77,8

Prăjinile grele pentru forajul cu sondeze se execută prin laminare la cald, din oțel aliat marca 40 Cr și OLT 65, direct sub formă de țevă. După laminare, cu excepția celor cu diametrul de 70 mm, ele se îngroașă la capete și se filetează mufă-mufă sau mufă-cep. Dimensiunile prăjinilor grele utilizate în forajul cu sondeze sînt date în tabelul XI.25.

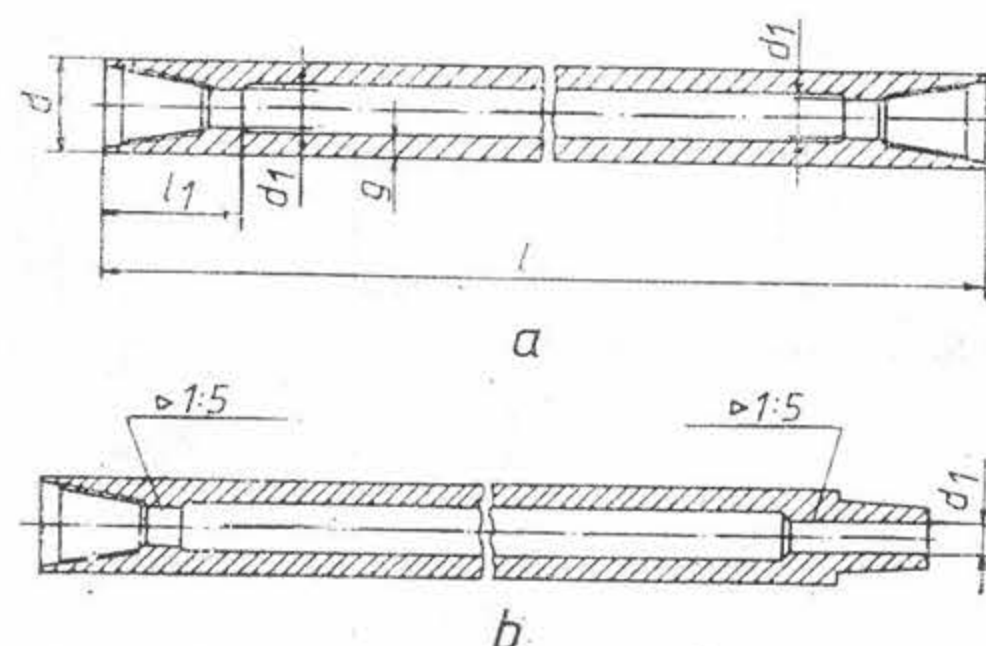


Fig. XI.89. Prăjină grea.

Redueții pentru garnitura de foraj. Reducțiile folosite în forajul cu sondeze sînt piese prin care se face legătura între diferitele părți ale garniturii de foraj, ca: prăjini de foraj și sapă sau carotieră; prăjini de foraj, prăjină de antrenare și capul hidraulic; prăjini de foraj și scule de instrumentație, prăjini grele etc.

Reducțiile pentru garnituri de prăjini de foraj pentru sondeze se execută în trei forme, conform STAS 5416-84:

— tip A — mufă-cep, tip B — mufă-mufă, tip C — cep-cep (fig. XI.90). Ele se fabrică din oțel aliat, prin forjare sau laminare.

Tabelul XI.25

Dimensiunile prăjinilor grele pentru sondeze

Dimensiunea nominală a prăjinii grele (diametrul exterior) [mm]	$d \pm 1,5\%$	$d_1 \pm 1$	$d_2 \pm 1$	$g - 12,5\%$	l	l_1 min.	Filete	Masa [kg/m] min.
80	80	35	25	21	4000...5000	120	RS 123/8 STAS 325-75	29,5
95	95	43	31,5	21			RS 127/8 STAS 325-75	37,0

Solicitarea prăjinilor. Garnitura de foraj este supusă în timpul forajului unui complex de solicitări statice și dinamice. Solicitățile statice sînt cauzate de greutatea proprie a garniturii de foraj și de momentele de torsiune, iar solicitările dinamice apar în timpul operațiilor de manevră, datorită accelerației masei garniturii de foraj în mișcare.

În procesul de foraj, sarcinile exterioare produse ca urmare a greutății proprii, a momentelor de torsiune ale forțelor centrifugale și ale forțelor perturbatoare provocate de acțiunea de dislocare a rocii de către unealta tăietoare, capătă uneori astfel de valori încît forma elastică a garniturii de foraj își pierde stabilitatea și apar zone de oboseală urmate de ruperi.

Rezultă că procesele de oboseală apar ca urmare a regimului de instabilitate statică și dinamică, consecință a regimului neuniform de tăiere și dislocare a rocilor de către unealta tăietoare și a celorlalți parametri definitorii ai regimului de foraj.

Redarea matematică a complexului de fenomene este foarte dificilă. De aceea, pentru analizarea lor se consideră în primul rînd stările simple de tensiune din elementele garniturii de foraj și apoi stările de instabilitate statică și dinamică, precum și oscilațiile mecanice ale garniturii.

Controlul și îngrijirea prăjinilor. În timpul forajului prăjinile, în afara eforturilor care sînt supuse, se mai uzează și datorită circulației noroiului de foraj. Prin dese deșurubări și înșurubări, filetele speciale ale racordurilor se uzează și ele, modificîndu-și calibrul și dimensiunile, devenind improprie pentru lucru. Pe de altă parte, garnitura de prăjini în rotație se freacă de pereții găurii de sondă, în special în dreptul racordurilor, producîndu-se o uzură și o micșorare a diametrului exterior, din care cauză garnitura se rupe. Din aceste motive, după fiecare extragere trebuie să se facă un control amănunțit al garniturii, să se elimine mufele sau racordurile uzate, iar prăjinile ale căror pereți au suferit în urma corodării să se scoată din uz. Scoaterea din uz se face în urma cîntăririi prăjinii, prin care se constată greutatea cu care a scăzut. Dacă greutatea pierdută întrece limita prescrisă de norme, prăjinile se scot din funcție.

Pentru folosirea rațională a prăjinilor de foraj este necesară schimbarea periodică a poziției acestora în garnitură, astfel încît fiecare prăjină să lucreze un număr de ore aproximativ egal cu acela efectuat de celelalte prăjini și să ocupe succesiv, o anumită perioadă de timp, diferite poziții în componența garniturii de foraj. În aceste condiții se realizează o uzură uniformă a garniturii.

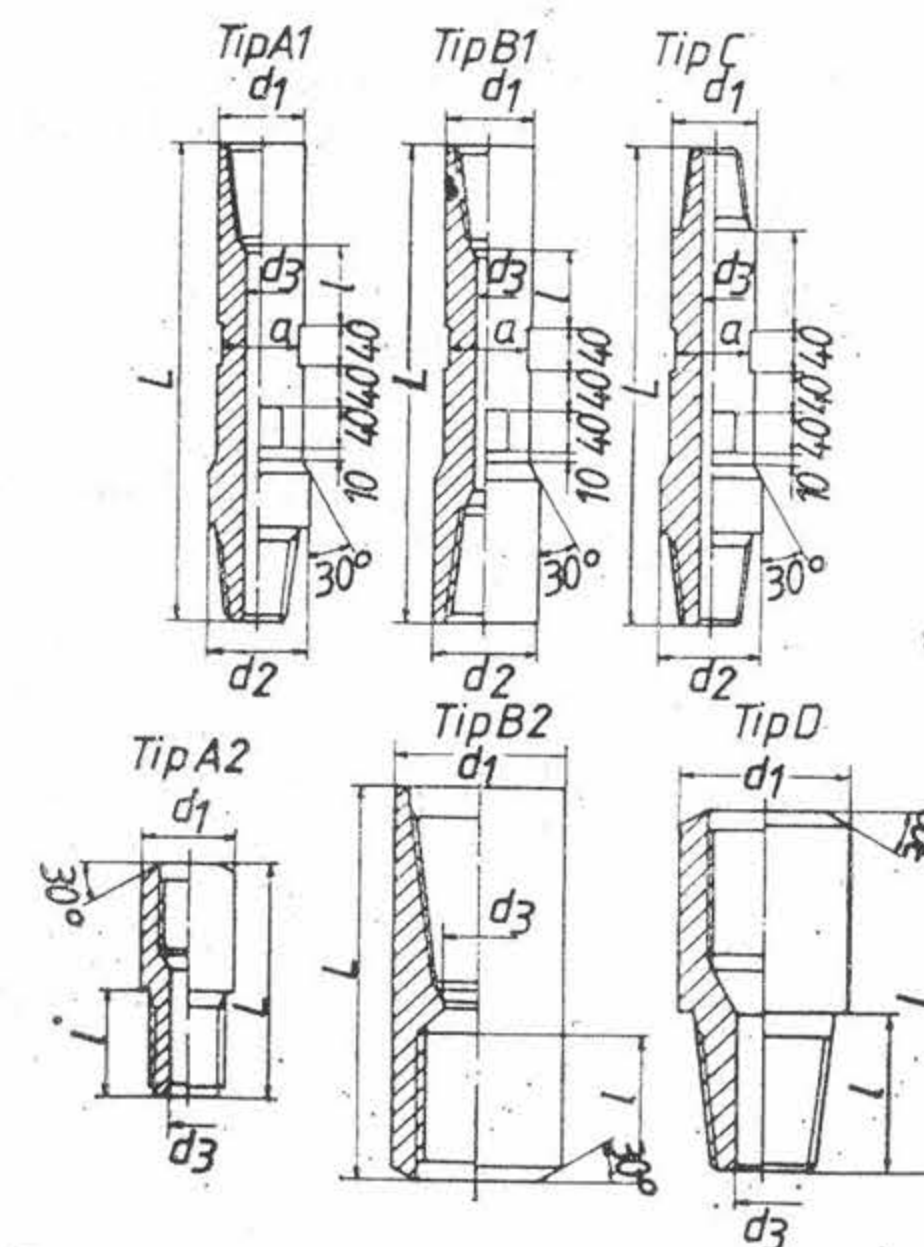


Fig. XI.90. Reducții pentru garnituri de prăjini de foraj pentru sondeze.

În afară de controlul făcut la sondă, prăjinile trebuie urmărite chiar la ieșirea din uzină în mod sistematic, sortate după calități și repartizate pe șantiere după gradul lor de uzură.

3.5.2. SCULE ȘI DISPOZITIVE DE MANEVRĂ PENTRU PRĂJINI ȘI BURLANE

Pentru manevrarea prăjinilor ca și pentru operațiile de tubaj se folosesc diferite scule: clești, chei, furci, călușe, elevatoare, șarniere etc.

Acestea se pot clasifica, după operațiile la care se utilizează, în:
— scule pentru înșurubarea și deșurubarea materialului tubular etc;
— scule și dispozitive de ridicat.

Scule pentru înșurubare și deșurubare. Din această categorie fac parte:

Cleștii, cheile pentru prăjini și cleștii pentru burlane. Cleștii pentru prăjini au o falcă ascuțită, iar cealaltă curbă, cu care se prinde prăjina. Deseori în locul cleștelui obișnuit se întrebuințează *cleștele reglabil* și *clești speciali cu falca articulată* (fig. XI.91, a).

Cleștii folosiți pentru coroane și manșoane alezoare de sondeze, conform STAS-ului în vigoare se execută în două tipuri:

tip I — clești cu știft (fig. XI.91, b) și tip II — clești cu fricțiune (fig. XI.91, c).

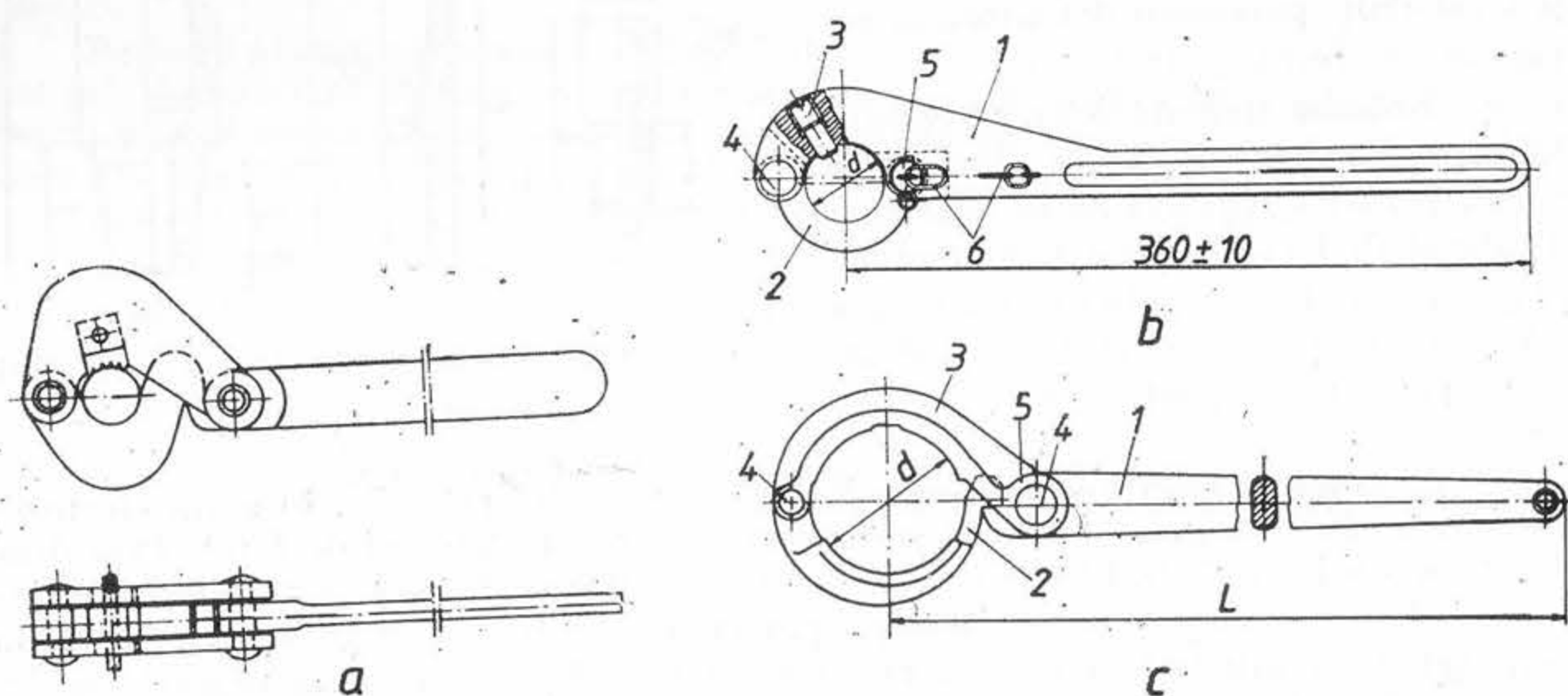


Fig. XI.91. Clești pentru sondeze:

a — clește special cu falca articulată pentru prăjini; b — clește cu știft (1 — coadă; 2 — falcă inferioară; 3 — știft; 4 — nit; 5 — bolț; 6 — lanț); c — clește cu fricțiune (1 — coadă; 2 — falcă inferioară; 3 — falcă superioară; 4 — bolț; 5 — inel).

Cheile pentru piulițe pot fi simple sau reglabile.

Cleștele cu lanț și cleștele cu șurub, pentru burlane, servesc la înșurubarea și deșurubarea burlanelor.

Scule și dispozitive de ridicare. Sculele și dispozitivele folosite pentru ridicarea garniturii sunt următoarele (fig. XI.92):

Furca pentru prăjini. Servește pentru suspendarea garniturii de foraj sau a burlanului de tubaj la gura sondei. Ea se așază sub mufa prăjinii sau a burlanului.

Elevatorul. Este folosit pentru ridicarea și coborîrea elementelor garniturii de foraj (fig. XI.92, b).

După modul de construcție se deosebesc: *elevatorul cu nipluri* (fig. XI.92, b), *elevatorul cu racorduri* (fig. XI.92, c) și *elevatorul cu cap sau suveiu* (fig. XI.92, d și e).

Tabelul XI.26

Caracteristici tehnice ale furcilor pentru prăjini

Dimensiunea nominală a prăjinii	Deschiderea furcii	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
mm	mm	kN	kg
33,5 N	27,5	120	8,3
42 N	32		9,5
50 N	37		9,6
50 RS	45		9,7
70	56		10
80	63		10
90	77		10

Elevatorul automat este prevăzut în interior cu bile ce culisează pe plane înclinate, avînd înclinarea spre interiorul dispozitivului.

Caracteristicile tehnice pentru furcă și elevator sînt date în tabelul XI.26 și respectiv tabelul XI.27.

Broasca cu pene. După extragere, prăjina se fixează în vederea deșurubării, cu ajutorul broaștei cu pene, care constă din bacuri de formă circulară, ce oscilează în jurul a doi pivoți de fixare. Pe partea interioară, bacurile sînt prevăzute cu dinți, care se înfig în prăjini în timpul fixării.

Tabelul XI.27

Caracteristici tehnice ale elevatorului pentru sondeze

Mărimea elevatorului	Raza de curbură a toartei	Raza de așezare a toartei	Deschiderea elevatorului	Lungimea elevatorului	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
					kN	kg/buc
	mm					
33,5	26	10	28	475	10	5,300
42	26	12,5	33	500	30	7,700
50	26	17,5	38	520	80	16,200
50 RS	26	17,5	45	535	100	18,900

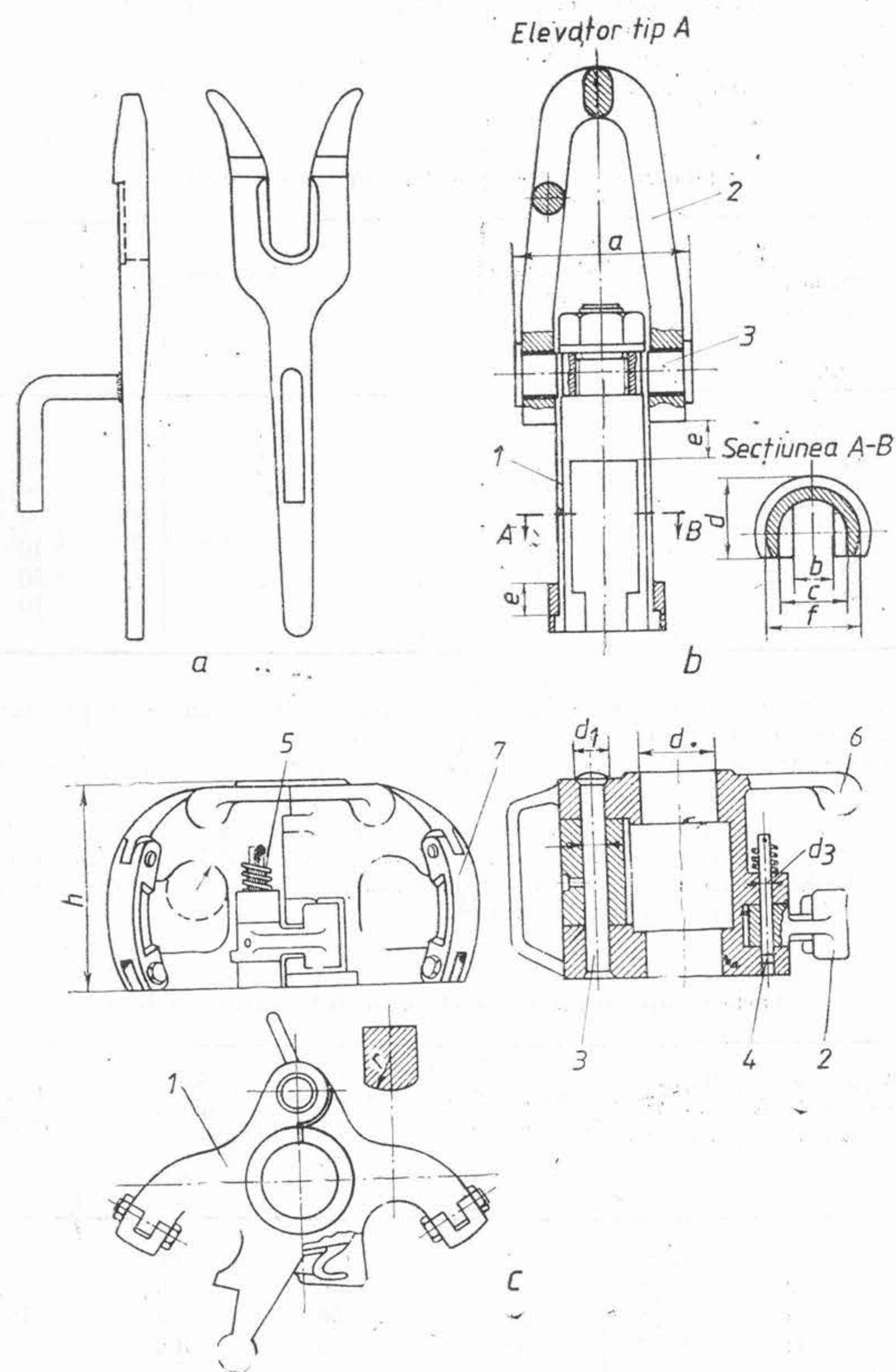


Fig. XI.92.

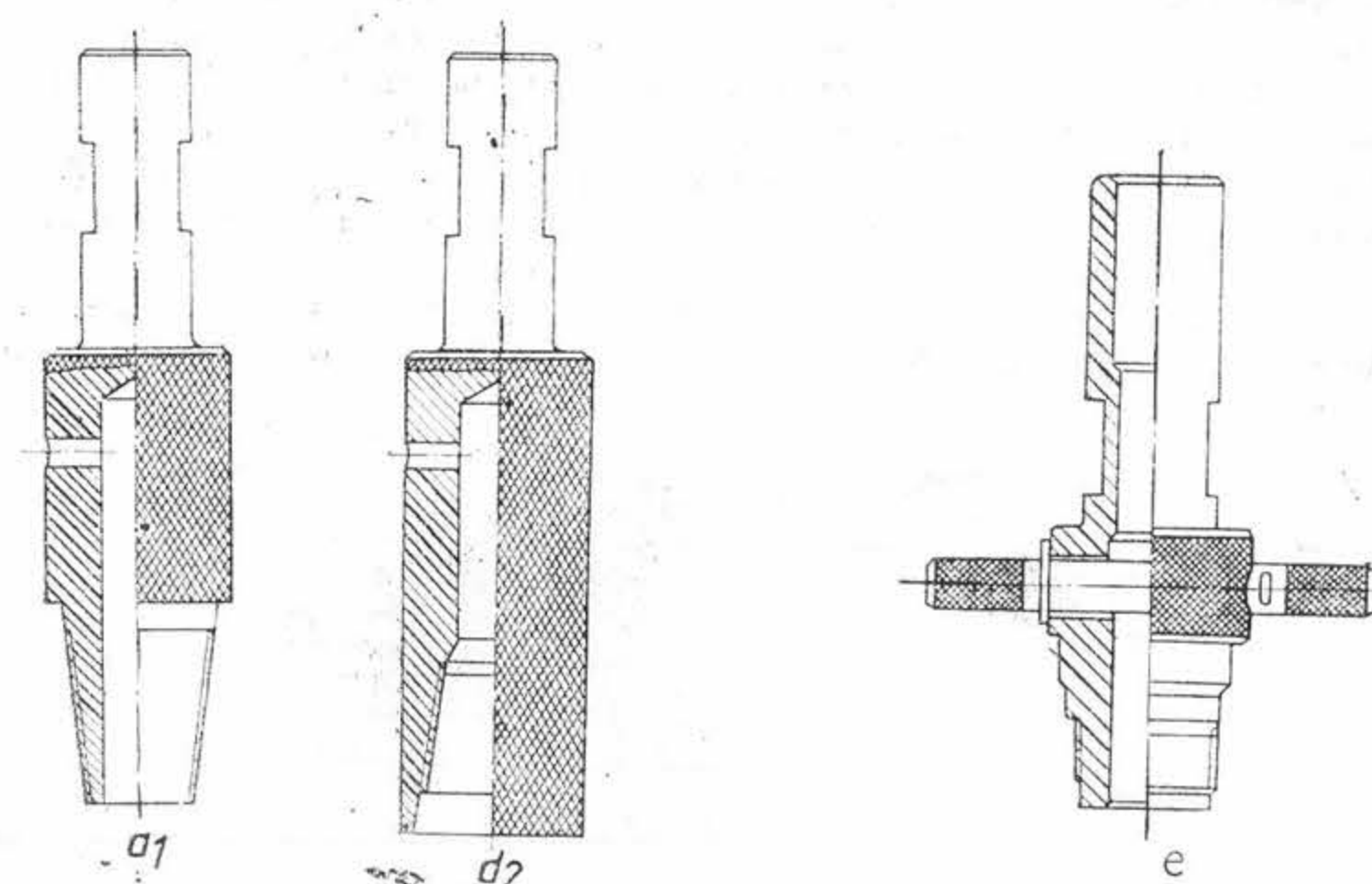


Fig. XI.92. Scule și dispozitive de ridicare :

a — furcă pentru prăjini; b — elevator pentru prăjini cu nipluri (1 — corp; 2 — jug; 3 — ax); c — elevator pentru prăjini cu racorduri (1 — corp; 2 — închizător; 3 — bolțul principal; 4 — bolțul închizătorului; 5 — arcul închizătorului; 6 — minere; 7 — brațe de siguranță); d — suvei pentru manevrarea prăjinilor grele (d_1 — cu cep; d_2 — cu mufă); e — suvei pentru prăjini netede.

Broaștele cu pene pentru sondeze se execută în două tipuri:

- tip P, cu o pană reglabilă și una mobilă acționată cu o pedală (fig. XI.93, a);
- tip PAM, cu pene articulate, acționate manual (fig. XI.93, b).

Fiecare din tipurile de broaște se execută în cîte două mărimi, funcție de sarcina maximă de lucru.

Caracteristicile broaștelor cu pene sînt date în tabelele XI.28 și XI.29.

Tabelul XI.28

Caracteristicile broaștelor cu pene tip P

Tipul și mărimea broaștelor	Diametrele nominale de prindere [mm]	I	l	h	Sarcina maximă de lucru [kN]	Masa (informativă) [kg]
P-3,2	28; 33,5; 35; 42; 44; 50; 51; 55,6	565	194	155	32	31,5
P-5	28; 33,5; 35; 42; 44; 50; 54; 55,6; 60; 66,7; 69,9; 80; 89	615	217	157	50	39,7

Capul hidraulic. Prin construcția sa, capul hidraulic asigură legătura între partea fixă a instalației, formată din geamblac și macara, și partea mobilă care este garnitura de foraj ce se rotește continuu. El are rolul de a susține garnitura de foraj și tot prin el trece noroiul de la pompa de noroi în prăjinile de foraj.

La unele instalații de foraj cu sondeze (instalația FS-1C), la care lipsește universalul sau masa rotativă — funcția de rotire a garniturii de foraj este realizată de capul hidraulic.

El este format dintr-o serie de piese (corpul, toarta, capacul) care nu se rotesc în timpul lucrului și o altă parte formată din piese care se rotesc (țeava de spălare și rulmenții).

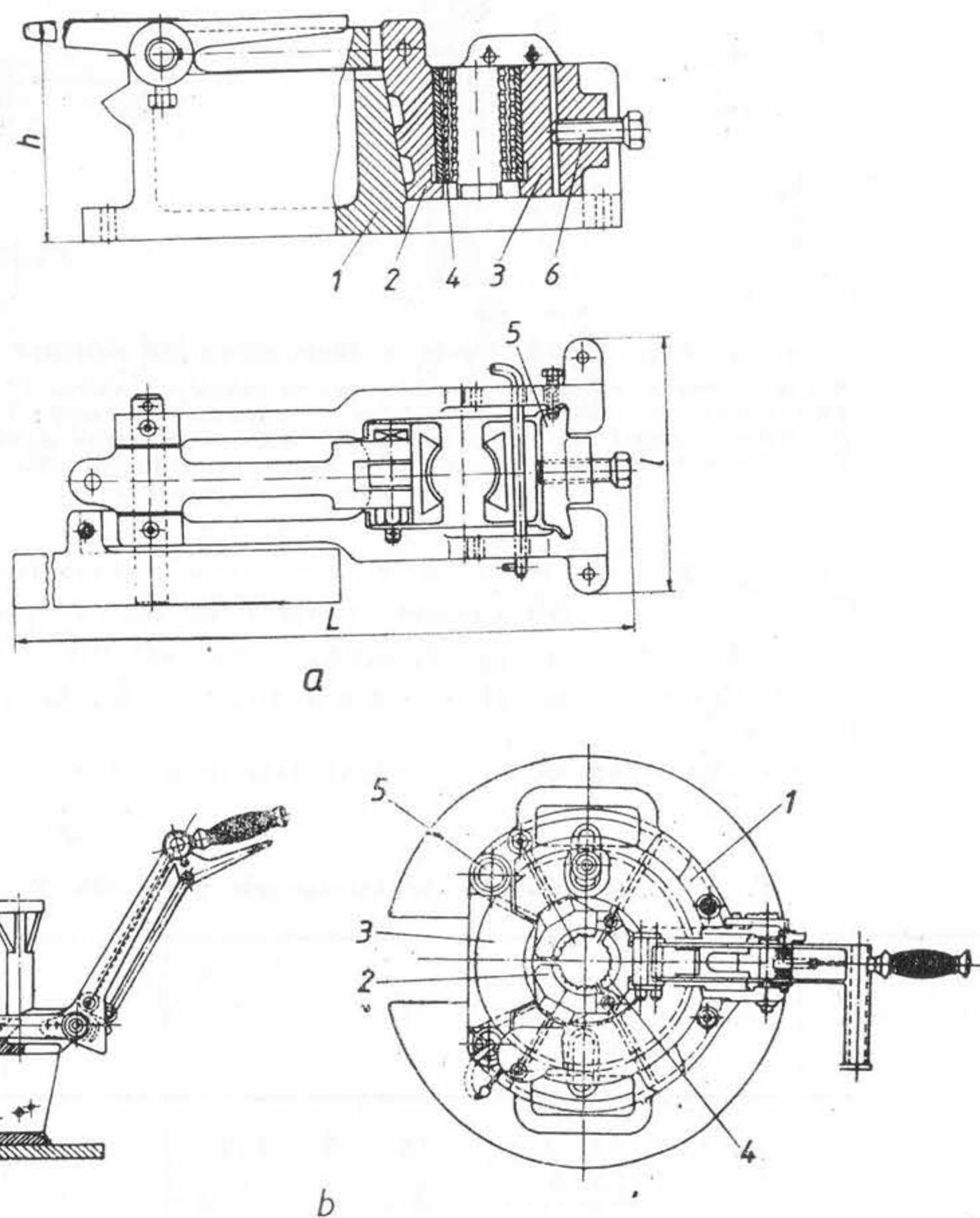


Fig. 2XI.93. Broaște cu pene:

a — tip P, cu o pană reglabilă și una mobilă (1 — corp; 2 — pană mobilă; 3 — pană reglabilă; 4 — cuțit; 5 — punte; 6 — șurub de reglaj); b — tip PAM cu pene articulate (1 — corp; 2 — pană; 3 — ușă; 4 — cuțit; 5 — bolțul ușii; 6 — placă de bază; 7 — apărătoare).

La partea superioară, capacul hidraulic este prevăzut cu o presgarnitură și o lulea de care se leagă furtunul de foraj.

Capul de jos al tubului central are o reducere cu filet stînga (normal și special) care se înșurubează în mufa prăjinii de antrenare. Filetul stînga protejează prăjina de antrenare, care se rotește la dreapta, de deșurubare în timpul forajului.

Tabelul XI.29

Caracteristicile broaștelor cu pene tip PAM

Tipul și mărimea broaștelor	Diametrele nominale de prindere [mm]	Sarcina maximă de lucru [kN]	Masa (informativă) [kg]
PAM-10	50; 54; 55,6; 60; 66,7; 69,9; 73; 80; 89	100	80
PAM-20	50; 60; 69,9; 73; 89; 108; 114; 127; 140	200	100

În funcție de metoda de lucru, capetele hidraulice sînt de două tipuri:

— tip ASz, folosite în cazul cînd în timpul forajului garnitura nu este suspendată de capul hidraulic (fig. XI.94, a);

— tip BSz, folosite în cazul suspendării garniturii în timpul forajului, prin intermediul capului hidraulic (fig. XI.94, b).

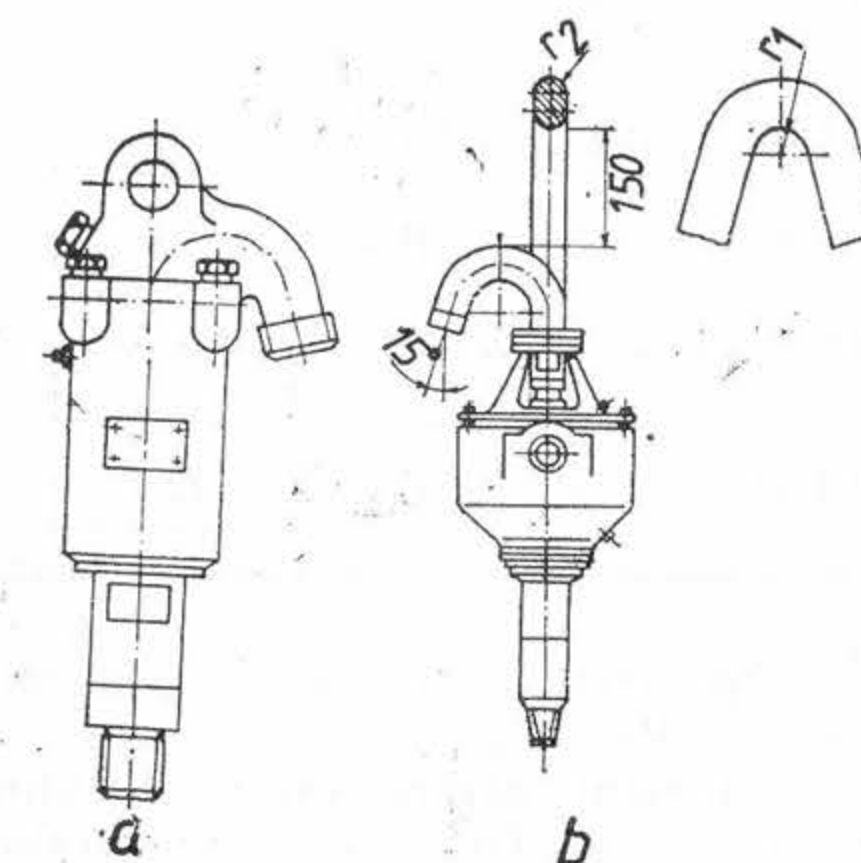


Fig. XI.94. Capete hidraulice.

Caracteristicile constructive ale celor două tipuri de capete hidraulice sînt date în tabelele XI.30 și XI.31.

Cablul de foraj. Face legătura între trolul de foraj, geamblac și macara. Unul din capetele cablului se leagă de toba granicului, iar celălalt capăt, după ce trece peste rolele geamblacului și ale macaralei, se leagă de turlă sau de macara. Cablurile folosite în foraj sînt cabluri rotunde, din sîrmă de oțel.

Ele sînt de două tipuri:

- cablu construcție normală, ale cărui toroane sînt formate din fire de același diametru;
- cablu compound (compus), ale cărui toroane sînt formate din fire cu diametre diferite.

Tabelul XI.30

Caracteristicile capului hidraulic tip ASz

Simbolul capului hidraulic	Sarcina maximă de lucru [kN]	Sarcina normală de lucru [kN]	Turația maximă fără sarcină, [rot/min]	Presiunea maximă de lucru [bar]	Filetul de legătură cu prăjina conform STAS 1968-69	Filetul de legătură a lulelei la furtun
(CH 1200 ASz)	—	—	1200	12	Sz EW	M22 × 1,5
CH 1500/1,2ASz	12	6,3	1500	16	Sz EW	M45 × 2
(CH2000/1,6ASz)	16	10	2000	25	Sz AW	M45 × 2
CH 1500/3,2ASz	32	20	1500	40	Sz BW	M45 × 2
(CH1400/5ASz)	50	32	1400	35	RS50 stg STAS 5291-56	M45 × 2
CH1500/5 ASz	50	32	1500	63	Sz BW	M45 × 2
CH1500/8ASz	80	50	1500	63	Sz BW	M85 × 6
(CH 800/10 ASz)	100	63	800	63	2 ³ / ₈ N stg. STAS325-67	M85 × 6
CH1500/20 ASz	200	125	1500	100	Sz NW	M85 × 6

Se execută din sîrmă de oțel mangan sau alte oțeluri superioare, cu grosimea firului de 0,2—5 mm.

Sistemul macara-geamblac. Ridicarea și coborîrea garniturii de foraj precum și susținerea ei în timpul lucrului se realizează printr-un sistem de scripete ce se compune dintr-o parte fixă numită *geamblac* și o parte mobilă — *macaraua*. În cazul forajului de adîncime, la care se folosesc turlele de foraj, geamblacul se fixează în partea superioară a turlei.

Construcția geamblacului este în funcție de tipul de turlă (piramidală, mast, tripied) și de sistemul de înfășurare al cablului.

În cazul turlelor piramidale și al tripiedelor, geamblacul are rolele asamblate pe un singur ax (geamblac monoax sau monobloc).

La instalațiile de sondeze cu mast, la care agregatul de foraj se retractează și axa tobei este în același plan cu axa de retractare (SG-150; SG-300; SG-650) geamblacul este constituit din două role montate pe două axe (fig. XI.95). În acest caz una din cele două role are rolul de a conduce cablul respectiv.

Tabelul XI.31

Caracteristicile capului hidraulic tip BSz

Simbolul capului hidraulic	CH 5 BSz	CH 10 BSz	CH 20 BS	CH 32 BSz
Sarcina maximă de lucru, kN	50	100	200	320
Sarcina normală de lucru, kN	32	63	125	200
Sarcina dinamică echivalentă a rulmentului principal, F_{ech} , kN	30	60	80	160
Turația maximă, rot/min	400	400	500	500
Filetul reducăției de legătură cu prăjina	RS 50 stg. STAS 5291-56	M45 × 2	RSI 2 ³ / ₈ N	FI 2 ⁷ / ₈
Filetul de legătură a lulelei la furtun	RS 1—2 ³ / ₈ Nstg STAS 325-67	M 85 × 6	M85	LP2 ¹ / ₂
Diametrul interior al țevii de săpare min., mm	22	27	27	40
Raza de curbura a toartei r_1 , mm	40	45	45	76,20
Raza de așezare a toartei r_2 , mm	15	20	20	76,20
Presiunea maximă de lucru, bar	35	63	63	100

Geamblacurile se execută pentru sarcinile maxime indicate în tabelul XI.32. Distanța dintre rolele geamblacului este egală cu distanța între rolele macaralei. *Macaraua* este utilajul care face legătura între cablul care trece peste rolele geamblacului și cîrligul de care este suspendată garnitura de foraj prin intermediul capului hidraulic.

Macaralele se execută în două tipuri constructive:

- tip A, cu dispozitiv rotitor pentru suspendarea sarcinii (fig. XI.96, a);
- tip B, cu bolt pentru prinderea cîrligului (fig. XI.96, b).

Caracteristicile tehnice ale macaralelor pentru sondeze sînt redată în tabelul XI.33.

La forajul cu sondeze, cînd se folosește trepiedul pentru susținerea garniturii și pentru operațiile de manevră, geamblacul este înlocuit cu *scripetele pentru geamblac* cu una sau două role. Acesta este suspendat de boltul de legătură al trepiedului, prin intermediul unei piese speciale numită *biglul geamblacului*.

Tabelul XI.32

Caracteristicile tehnice ale geamblacului

Sarcina maximă de lucru [kN]	Sarcina normală de lucru [kN]	Numărul de roți pe axul principal	Diametrul exterior al roții principale și al roții de deviere, d [mm]	Diametrul nominal al cablului [mm]
6,3	3,2	1	200	9
12	6,3	1	200	9
32	20	2	215	12
50	32	2	325	16
80	50	2	325	18
200	125	3	400	18
(16)	10	1	200	9
(50)	32	1	325	15
(70)	44	1	370	16

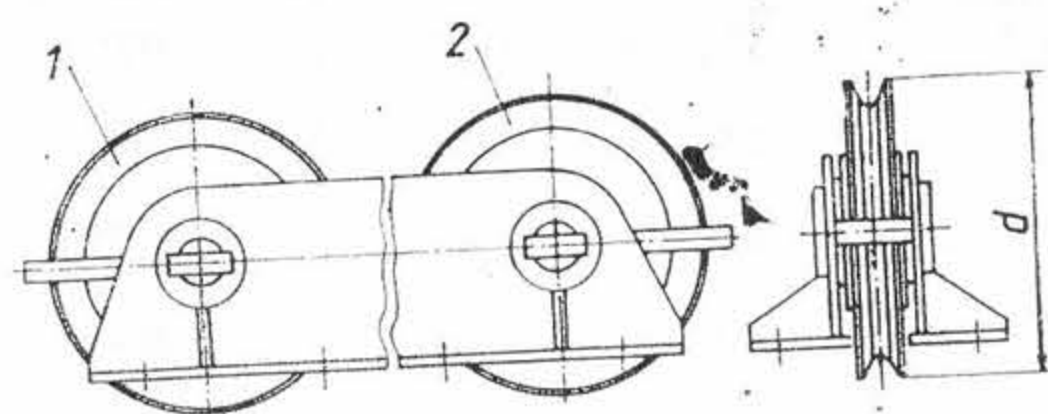


Fig. XI.95. Geamblac:

1 — roată de deviere; 2 — roată principală

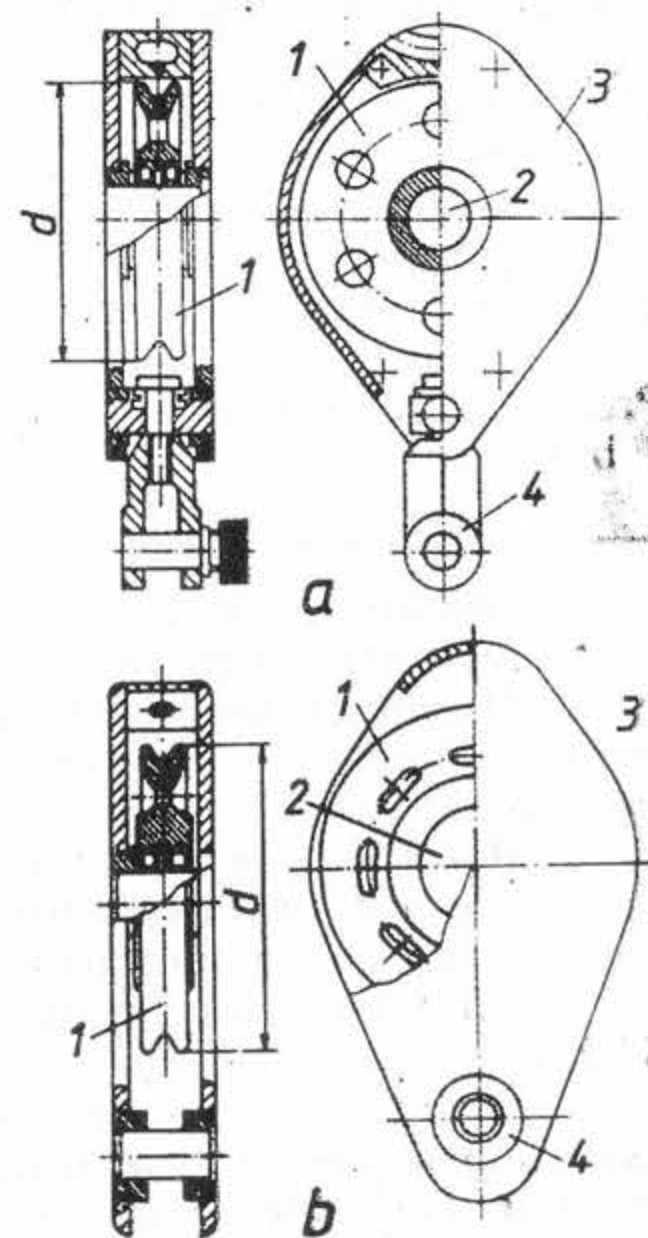


Fig. XI.96. Macarale:

a — tip A cu dispozitiv rotativ pentru prinderea sarcinii;
 b — tip B cu bolț pentru prinderea cîrligului;
 1 — role; 2 — ax; 3 — apărătoare; 4 — jug.

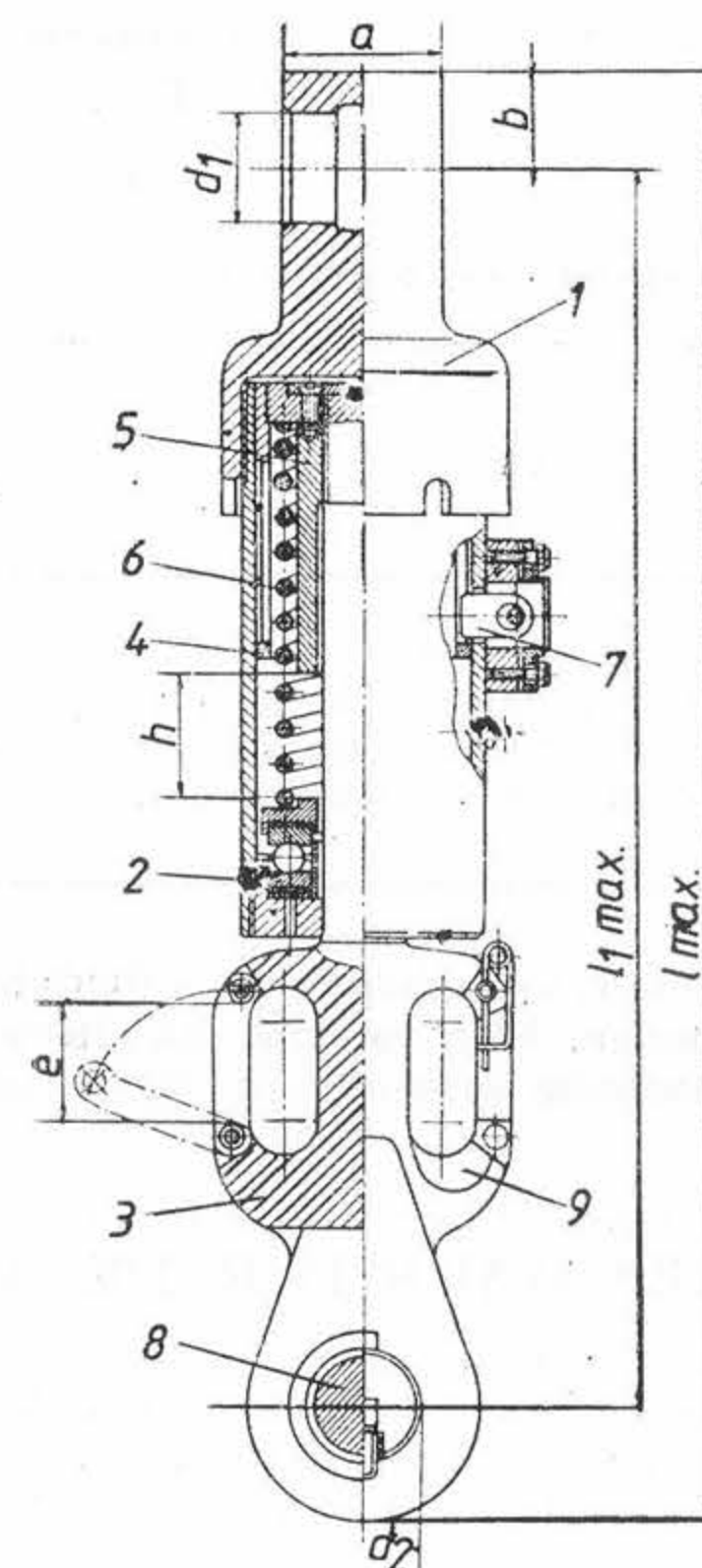
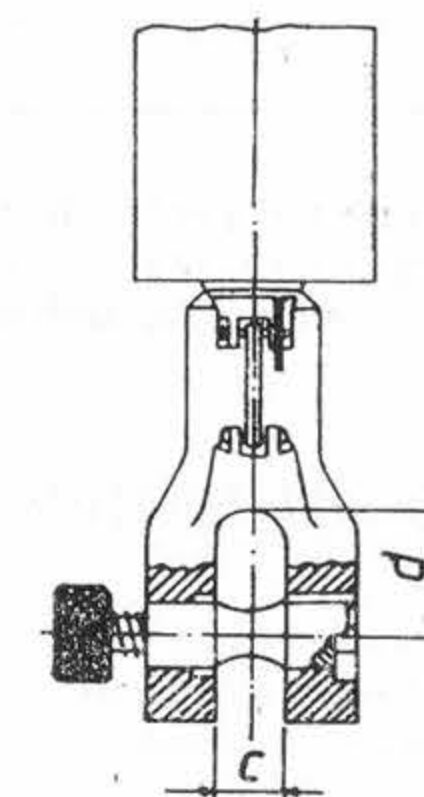


Fig. XI.97. Cîrlig:

1 — partea superioară care se articulează la macara; 2 — rulment axial; 3 — cîrligul propriu-zis;
 4 și 5 — piese de sprijin a arcului; 6 — arc; 7 — piedică; 8 — bolț; 9 — umeri.



Tabelul XI.33

Caracteristicile tehnice ale macaralelor pentru sondeze

Tipul macaralei	Sarcina maximă de lucru la cîrlig [kN]	Sarcina normală de lucru la cîrlig [kN]	Numărul de roți	Diametrul exterior al roții d [mm]	Diametrul nominal al cablului [mm]
A	32	20	1	215	12
	50	32	1	325	16
	80	50	1	325	18
	200	125	2	400	18
B	50	32	1	325	15

Cînd se lucrează cu trepid la sondezele mecanice, de rola geamblacului, prin intermediul cablului, se leagă rola cu cîrligul de foraj.

Cîrligul. Pentru foraj se folosesc cîrlige obișnuite formate dintr-un jug și corpul cîrligului (cioc), legate articulat. Ciocul poate fi îndoit sau drept.

Cîrligul utilizat la instalațiile moderne de sondeze se compune dintr-o parte fixă care se articulează cu partea superioară la macara, iar la partea inferioară are un rulment axial pe care se sprijină partea mobilă compusă din restul cîrligului (fig. XI.97).

Caracteristica principală a cîrligului este sarcina pe care o poate suporta. Caracteristicile tehnice ale cîrligelor pentru sondeze sînt date în tabelul XI.34.

Tabelul XI.34

Caracteristicile tehnice ale cîrligelor pentru sondeze

Mărimea cîrligului	Sarcina maximă [kN]	Sarcina inițială a arcului [N]	a	b	c	d	d ₁	d ₂	e	h	max. l	l ₁ max.	r
C 5	50	920	66	42,5	10	80	50	50	45	55	615	553	15
C 10	100	1850	125	45	60	105	50	60	55	80	795	690	25
C 20	200	1850	125	45	60	105	50	60	50	80	795	690	30
C 25	250	1850	161	62,5	80	120	70	70	60	120	956	824	45

Furtunul pentru foraj. Legătura dintre conducta de împingere a fluidului de foraj și capul hidraulic se realizează printr-un furtun. El se execută din cîteva straturi de pînză cauciucată, avînd la mijloc o întăritură de sîrmă.

3.6. TUBAREA ȘI CIMENTAREA GĂURILOR DE SONDĂ

În cazul forajului de explorare prin formațiuni slab consolidate, friabile, pentru a preîntîmpina dărîmarea pereților găurii de sondă, aceasta se tubează, iar pentru a preîntîmpina comunicația între strate se execută izolarea acestora prin cimentare.

3.6.1. TUBAREA

În rocile eruptive și chiar în unele roci sedimentare, cum sînt gresiiile, calcarele etc., pereții găurii de sondă se pot menține nesușinuți; însă în rocile slab consolidate, ca nisipuri, argile, marne, pereții găurii de sondă se surpă dacă nu sînt susținuți. Susținerea pereților găurii de sondă se face cu ajutorul burlanelor, operație care se numește *tubare*. Tubarea găurilor de sondă are ca scop uneori nu numai susținerea pereților, ci și izolarea stratelor între ele, cum ar fi izolarea stratelor acvifere așezate deasupra sau dedesubtul stratelor productive, sau se execută tubarea în scopul exploatării (la sondele de apă, sare, petrol, gaze).

La forajul de explorare cu sondeze mecanice, la care se extrag carote pe toată adîncimea găurii de sondă și apoi aceasta este părăsită, tubarea pe toată adîncimea găurii de sondă se face numai în cazuri rare. De obicei, la începerea forajului unei găuri, se introduce un burlan de $7\frac{5}{8}$ in sau $8\frac{5}{8}$ in, în lungime de 2—4 m, care se cimentează. Rolul acestui burlan este de a consolida terenul la gaura gurii sondei și de a servi la ghidaj pentru foraj, precum și pentru dirijarea noroiului de foraj. În cazul cînd rocile de la suprafață sînt mai puțin consistente, atunci se susțin cu

burlane de diametru $5\frac{3}{4}$ in pînă la adîncimea de 50 m, săparea făcîndu-se în continuare fără susținere.

În cazurile cînd formațiunile ce se forează sînt afinate pe porțiuni mari, atunci se face tubarea conform unui program de tubare cu burlane de sondeze, STAS 1967—80, prin care se stabilesc: numărul coloanelor ce se vor tuba; diametrele și adîncimile acestora; tipul și diametrul sapelor folosite; cimentările coloanei de tubare și înălțimea de cimentare a fiecărei coloane.

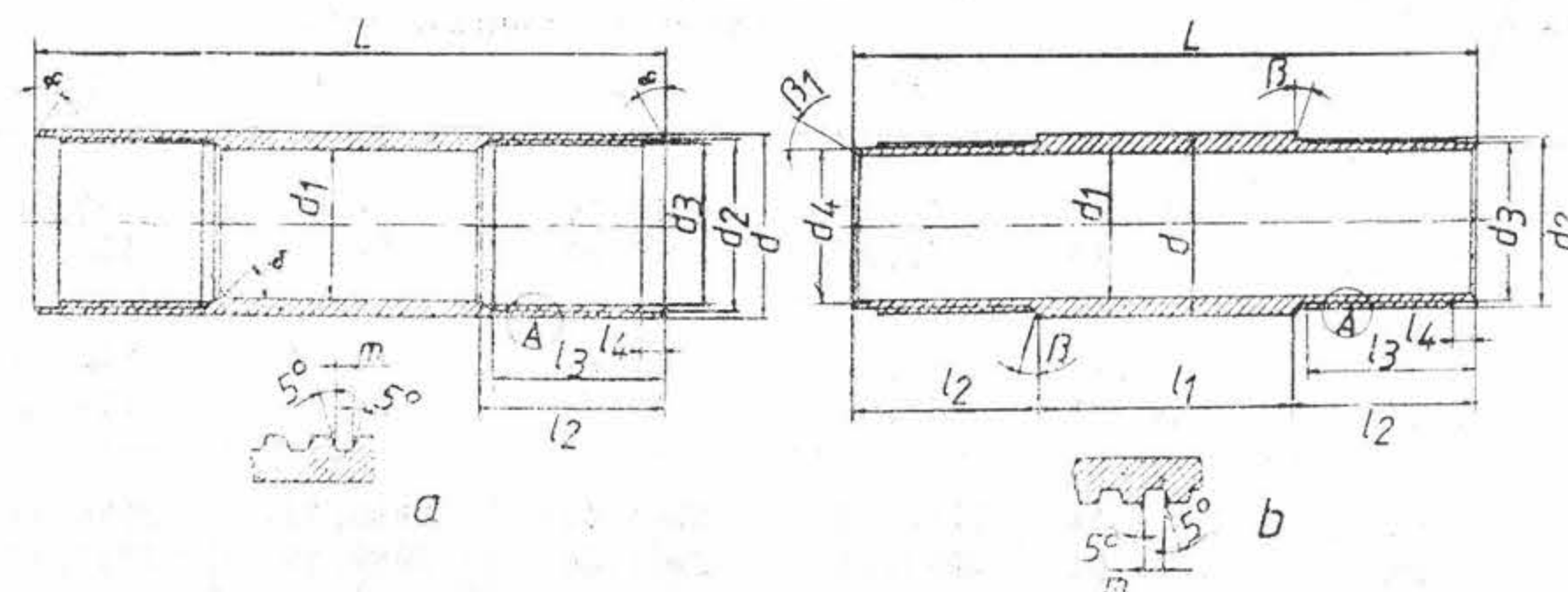


Fig. XI.98. Burlan (a) și niplu de legătură (b) pentru forajul cu sondeze.

Factorii care intervin în stabilirea programului de tubare sînt de ordin geologic (natura rocilor traversate, deranjamente tectonice, caverne etc), tehnic (tipul instalației de foraj, rezistența coloanelor, adîncimea interioară a găurii de sondă etc.) și economic (costul forajului, costul burlanelor etc.). În afară de acești factori, mai trebuie să se țină seama de obiectivul urmărit prin foraj.

Tubarea se face cu *burlane cu filet*, cu *nipluri de legătură* tip X (fig. XI.98), care se execută din oțel aliat OLT 65, 44 Mn 11, și 43 MoMn 16. Tipurile și dimensiunile burlanelor pentru forajul cu sondeze și niplurile de legătură ale acestora, conform STAS 1967—80, sînt date în tabelele XI.35 și XI.36.

Burlanele folosite pentru tubare trebuie să aibă o mare rezistență, pentru a putea face față eforturilor la care sînt supuse. Ele trebuie să reziste la orice condiții de manipulare, la tracțiune sub greutatea proprie, la presiunea interioară și exterioară. La proiectarea tubării se folosește diagrama, din care se citesc direct grosimile burlanelor în funcție de adîncime, astfel că nu este nevoie să se calculeze fiecare coloană în parte.

Cele mai importante solicitări la care este supusă coloana de tubare sînt solicitările la întindere, solicitarea la presiunea exterioară datorită presiunii exercitate de greutatea fluidului în spatele coloanei cînd gaura de sondă este golită parțial sau total, ca și împingerii exercitate de unele strate din spatele coloanei, solicitarea la presiunea interioară datorită presiunii de zăcămint, solicitarea la încovoire datorită devierii de la verticală a găurilor de sondă și solicitarea la flambaj, cînd coloana se înțepenește în teren sau se sprijină pe talpa găurii de sondă.

Înainte de efectuarea tubării se fac o serie de lucrări pregătitoare care constau în verificarea întregii instalații, curățirea găurii de sondă, omogenizarea fluidului de foraj prin circulație și înlocuirea sculelor de manevră pentru prăjini cu cele pentru burlane (clești, elevatoare etc.). Pentru a conduce coloana de tubare în gaura de sondă, la primul

Tabelul XI.35

Dimensiunile burlanelor pentru forajul cu sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul				
		AX	BX	NX	HX	PX
		Diametrul nominal [mm]				
		57	73	89	114	140
d	max. min.	57,40 57,15	73,28 73,02	89,28 88,90	114,68 114,30	140,74 138,66
d_1	max. min.	50,80 50,55	65,07 64,82	80,95 80,57	104,78 104,39	130,51 125,30
L	max. min.	2974,54 2973,02	2962,81 2961,28	2962,81 2961,28	2950,72 2949,19	2948,94 2947,42
α		30°	30°	30°	30°	15°
d_2	max. min.	54,05 54,00	68,33 68,28	84,20 84,15	108,48 108,38	133,65 133,53
d_3	max. min.	52,45 52,40	65,94 65,89	81,81 81,76	106,04 105,97	131,24 131,14
l_2	min.	57,15	60,32	66,68	63,50	69,85
l_3	min.	53,98	57,15	63,50	57,15	66,68
l_4	max. min.	6,60 6,10	6,60 6,10	6,60 6,10	8,13 7,62	9,78 9,27
m	max. min.	1,63 1,55	1,60 1,52	1,60 1,52	2,59 2,51	2,57 2,46
Pași pe 25,4 mm	—	8	8	8	5	5
δ	—	—	—	—	—	30°

Tabelul XI.36

Dimensiunile niplurilor de legătură pentru burlane folosite la forajul cu sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul				
		AX	BX	NX	HX	PX
		Diametrul nominal [mm]				
		57	73	89	114	140
d	max. min.	57,40 57,15	73,28 73,02	89,28 88,90	114,68 114,30	140,74 133,66
d_1	max. min.	48,67 48,41	60,58 60,32	76,58 76,20	100,38 100,00	127,38 122,30
L		177,80	196,85	209,55	215,90	228,60
l_1	max. min.	74,47 73,96	86,24 85,70	86,21 85,70	98,30 97,79	100,08 99,57
d_4	max. min.	50,67 50,04	64,14 63,50	80,01 79,38	104,27 103,63	129,41 128,78
β	max.	30°	30°	30°	30°	15°
β_1		30°	30°	30°	30°	30°
d_2	max. min.	53,95 53,90	68,22 68,17	84,10 84,05	108,30 108,23	133,45 133,38
d_3	max. min.	52,35 52,22	65,84 65,71	81,71 81,58	105,89 105,76	131,06 130,96
l_2	max. min.	52,07 51,56	55,75 55,24	61,98 61,47	59,18 58,67	64,64 64,14
l_3	min.	47,62	50,80	57,15	53,98	60,32
l_1	max. min.	5,03 4,52	5,03 4,52	5,03 4,52	5,03 4,52	5,00 4,50
m	max. min.	1,63 1,55	1,60 1,52	1,60 1,52	2,59 2,51	2,57 2,46
Pași pe 25,4 mm		8	8	8	5	5

burlan se înșurubează o bucată scurtă de burlan cu pereți groși, numită *șiu* (STAS 2293-79). Pentru ca șiu să înainteze ușor în neregularitățile găurii de sondă, se montează în capul lui un dop de ghidaj care poate fi din lemn, ciment sau fontă (fig. XI.99).

Elementele accesorii ale coloanei de tubare sînt: *șiu* sau *sabotul*, *inelul de reținere*, care se montează între două bucăți de burlane la 10-20 m deasupra șiuului, *dispozitivele*

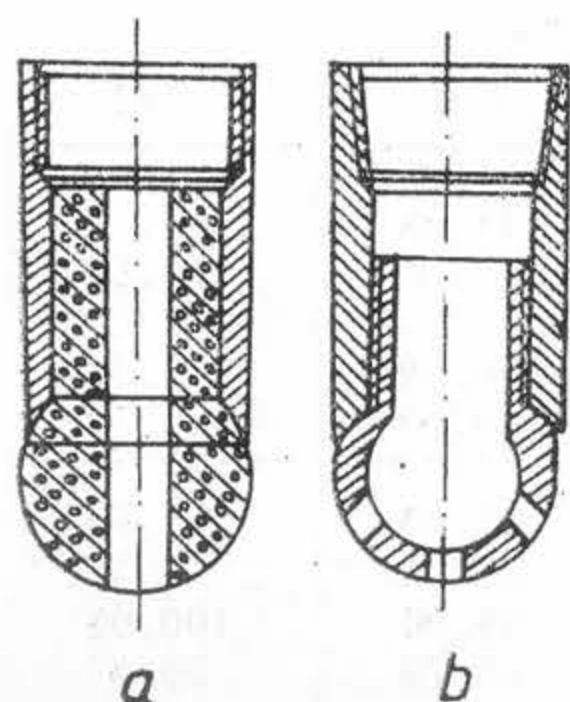


Fig. XI.99. Șiu :

a - cu dop de ciment; b - cu dop din fontă.

mită porțiune din gaura de sondă sau porțiunea de la talpa găurii de sondă pînă la coloana precedentă. Ea se recomandă numai în cazuri cu totul speciale.

Dificultățile ce pot interveni în timpul tubării sînt: manșonarea coloanei, adică formarea în fața șiuului a unui dop pe măsură ce coloana avansează, ca urmare a folosirii unui fluid necorespunzător la săpare; lipirea coloanei de pereții găurii de sondă în dreptul unor strate de marnă și argilă atunci cînd coloana nu este în mișcare; scăparea burlanelor și deformarea datorită forțării lor la introducerea în gaura de sondă

3.6.2. CIMENTAREA

Prin cimentare se urmărește fixarea coloanei tubate cu terenul, în scopul izolării formațiunilor purtătoare de fluide sub presiune (țiței, apă) sau în scopul închiderii porilor și fisurilor straturilor în care are loc pierderea de circulație.

Se mai recurge la cimentare și în cazurile în care nu se pot lichida accidentele de fund (garnitura rămasă în gaura de sondă) sau se urmărește devierea găurii de sondă pentru atingerea obiectivelor geologice.

Cimentul folosit în operațiile de cimentare, în foraj este un ciment portland special, a cărui compoziție este arătată în tabelul XI.37.

După condițiile specifice în care se face cimentarea, timpul de priză trebuie mărit sau micșorat. În acest scop se introduc în laptele de ciment substanțe chimice care au rolul de acceleratori sau întîrziatori de priză. Ca *accelerator* se folosește clorura de calciu (Cl_2Ca) în proporție de 2-3% din cantitățile cimentului praf. Mai rar se

utilizează hidroxidul de potasiu, hidroxidul de sodiu și silicatul de sodiu. Ca *întîrziatori* de priză se utilizează gipsul (pînă la 2%), varul, tananții de sodiu etc.

În mod obișnuit se folosește laptele de ciment cu factorul apă-ciment $m = 0,4-0,6$. Acest factor reprezintă raportul dintre cantitatea de apă în cantitatea de ciment exprimate în kg.

Tabelul XI.37

Compoziția chimică a cimentului Portland

Componentul	%
Oxid de calciu, CaO	60-6
Bioxid de siliciu, SiO_2	17-25
Oxid de aluminiu, Al_2O_3	3-8
Oxid de fier, Fe_2O_3	0,3-6

Pentru ca cimentarea să-și atingă scopul, este necesar să se obțină inelul de ciment de aceeași grosime. În acest scop se montează pe coloana de burlane centrori, care înlătură lipirea burlanelor de pereții găurii de sondă și asigură centrarea acestora.

Dacă se urmărește cimentarea integrală a găurii de sondă, laptele de ciment se introduce prin prăjinile de foraj pînă la talpa găurii de sondă și pe măsură ce nivelul său se ridică se extrage o parte din prăjini.

După cimentare se determină adîncimea oglinzii cimentului și se ia probă din dopul de ciment, pentru a se vedea modul cum cimentul a făcut priză. Se verifică apoi etanșeitatea coloanei, pompînd fluidul de foraj la o presiune de 30 daN/cm² timp de 30 de minute. Dacă presiunea nu scade, coloana este etanșă.

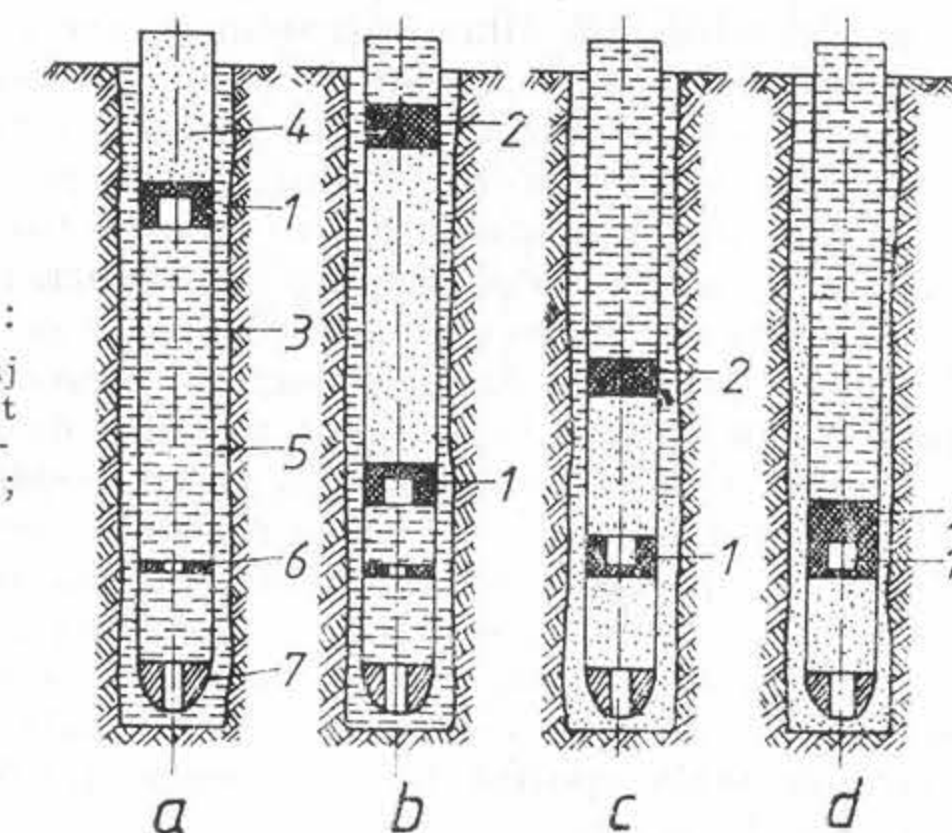


Fig. XI.100. Cimentarea cu două dopuri :

a - primul dop; b - începerea pompării fluidului de foraj după cel de-al doilea dop; c - refularea laptelui de ciment în spatele coloanei; d - terminarea operației; 1 - pompa; 2 - al doilea dop; 3 - noroi; 4 - ciment; 5 - burlane; 6 - inel; 7 - șiu.

Pentru realizarea cimentării de coloane se utilizează ca metode: cimentarea cu două dopuri, cimentarea cu coloană perforată, cimentarea etajată și cimentarea de coloană pierdută. Dintre acestea, în forajul de explorare se folosește cimentarea cu două dopuri (fig. XI.100) și cimentarea de coloană pierdută.

Cimentarea cu două dopuri. Constă în introducerea în coloană a primului dop de cimentare găurit, după care începe să se pompeze lapte de ciment. Se introduce apoi al doilea dop de cimentare, după care se pompează fluid de foraj. Când primul dop a ajuns la inelul de reținere, laptele de ciment trece prin primul dop și de aici prin șiu se ridică în spațiul inelar. Se continuă în felul acesta pomparea până când al doilea dop se așază peste primul dop, moment în care cimentarea este terminată.

Cimentarea de coloană pierdută. Laptele de ciment se pompează prin prăjinile de foraj, în cantitatea necesară umplerii spațiului inelar dintre coloana pierdută și pereții găurii de sondă. După aceea se pompează o cantitate de fluid egală cu volumul interior al coloanei pierdute și al prăjinilor de foraj. La terminarea pomparei se degajează prăjinile prin rotire la stînga. La aplicarea acestei metode coloana pierdută se echi-pează cu șiu și valvă de reținere.

Reușita unei cimentări depinde de o serie de factori, dintre care mai importanți sînt: starea în care se află pereții de sondă, caracteristicile fluidului de foraj, mărimea spațiului inelar, calitatea cimentului și buna organizare a operației, precum și starea utilajelor.

3.7. DIFICULTĂȚI ȘI ACCIDENTE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

În forajul unei găuri de sondă dificultățile care pot surveni sînt: devierile mari față de verticală, pierderile mari de circulație și accidente tehnice de foraj sau avarii care au loc în gaura de sondă. Acestea din urmă se mai numesc și *accidente de fund*.

3.7.1. DEVIEREA GĂURILOR DE SONDĂ

O verticalitate absolută a găurii de sondă nu se poate obține cu mijloacele actuale de lucru. Totuși, în mod practic se poate considera că forajul unei găuri de sondă poate fi condus fără dificultăți tehnice, atingînd obiectivul geologic final, dacă devierea de la verticală nu depășește 1° pentru fiecare 200 m foraj.

Cauzele devierilor se pot grupa în trei categorii: cauze datorate instalării sau montajului greșit, cauze de ordin geologic și cauze de ordin tehnologic.

Cauze datorate montajului greșit. O turlă sau trepid montate excentric, o fundație slabă sau un burlan de ghidaj rău centrat sînt cauze ale devierilor.

Cauze de ordin geologic. Anizotropia rocilor, înclinările prea mari ale straturilor sau schimbările de tărie ale rocilor, prezența concrețiunilor silicioase, a golurilor carstice etc. în timpul săpării pot produce devierea găurii de sondă (fig. XI.101, a).

Cauze de ordin tehnologic. Între acestea se situează apăsarea exagerată pe sapă, aplicată în dorința de a obține o viteză mecanică sporită, numărul mic de rotații și debitul de spălare prea abundent în roci friabile, folosirea de scule improprii, tuburi de carotiere strimbe, scurte sau înfiletate excentric, sape sau coroane prea uzate etc.

O deviere este semnalată prin unele indicii destul de precise. Astfel, la cîrlig apare o sarcină mai mică decît cea normală în timpul introducerii garniturii și invers, o sarcină mult sporită la extragerea garniturii și o rotire dificilă a garniturii libere în gaura de sondă.

Elementele care caracterizează devierea unei sonde sînt: *unghiul zenital* z , care arată devierea axei sondei față de verticală, și *azimutul* α , adică unghiul diedru pe care-l face planul axei sondei cu o direcție anumită, luată ca reper, spre exemplu direcția nord-sud (fig. XI.101, b).

Măsurarea unghiului zenital se face în mod simplu, folosind fie sticla cu acid fluorhidric, fie bara cu sulfat de cupru.

Măsurarea mai precisă a unghiurilor zenitale se face cu ajutorul *goniometrului* sau cu *înclinometrele* care pot fi: giroscopice, magnetice și orientate (tabelul XI.38).

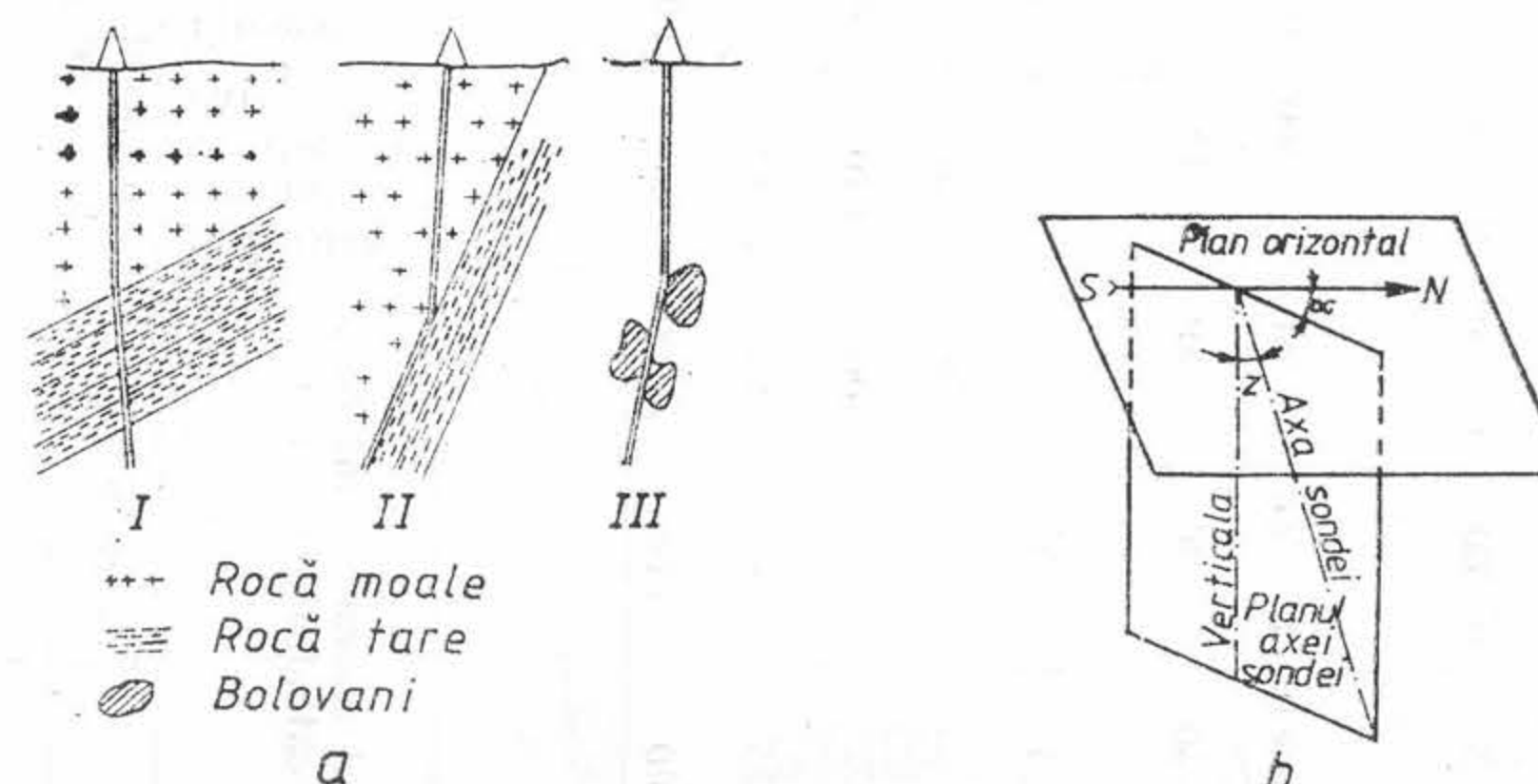


Fig. XI.101 Devierea găurii de sondă din cauze de ordin geologic (a) și elementele găurii de sondă deviate (b).

Îndreptarea sondelor deviate. Este o operație dificilă, costisitoare și de lungă durată.

Rectificarea unei sonde deviate se poate încerca prin una din metodele următoare:

— îndreptarea printr-un dispozitiv articulat;

— îndreptarea prin pană de deviere și foraj dirijat;

— cimentarea porțiunii deviate și resăparea ei pe intervalul respectiv;

— torpilarea găurii deasupra locului de deviere și apoi tubarea cu o coloană de burlane.

Forajul dirijat. Sînt cazuri cînd prin săparea unei găuri de sondă verticală nu se poate atinge zăcămintul de substanță utilă. Aceste cazuri se ivesc în următoarele situații:

— substanța utilă se găsește în filoane de mică grosime, așezate aproape vertical (fig. XI.102, a);

— forajul se execută în imediata apropiere a unei halde sau mine exploatate (fig. XI.102, b);

— stratificația prezintă dislocări tectonice și îndeosebi falii, care fac să scape substanța utilă (fig. XI.102, c);

— stratul urmărit se găsește sub diverse construcții (fig. XI.102, d);

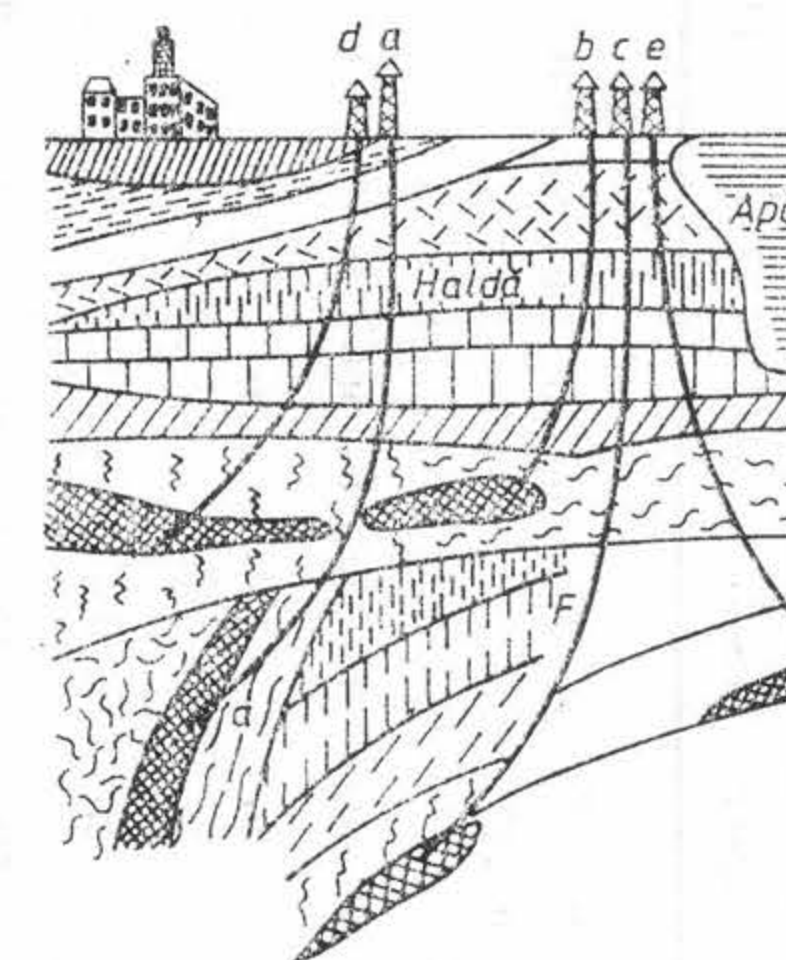


Fig. XI.102. Forajul dirijat.

Caracteristici	Românesc	Sovietice							Eastman — R.F.G.		
		IS-2	IS-3	IS-4	IK	UMI-25	MIA-3	IG-2	Easteco	Single shot Tip.A	Multiple shot
Unghiul față de verticală (zenital) [grade] Unghiul în plan orizontal (azimutal) [grade] Eroarea la măsurarea deviației Eroarea la măsurarea azimutului Diametrul aparatului [mm] Lungimea aparatului [mm] Diametrul carcasei [mm] Lungimea carcasei [mm] Numărul de puncte măsurate într-o lansare în sondă	0—15° 0—45° 0—360° ± 30' ± 10° 60 300 75 1 500 3	0—48° 0—360° ± 15' ± 5° 45 800 60 2 500	0—50° 0—360° ± 30' ± 5° 50 800 65 2 185	0—50° 0—360° ± 30' ± 5° 45 800 60 2 500	0—50° 0—360° ± 30' ± 4° — — 25 800	0—60° 0—360° ± 30' ± 5° — — 33 1 000	0—60° 0—360° ± 30' ± 5° 70 400 89 2 500	0—30° 0—360° ± 15' ± 3° 32 610 45 800 unu	0—20° 15—90° 0—360° ± 12' ± 3° 32 610 48 1 000 unu	0—12° 0—17° 15—90° 0—360° ± 12' ± 3° 32 1 066 50 1 500 350	
Felul înregistrării	Inregistrare mecanică pe disc de carton	nelimitat							Inregistrare pe disc de carton	Inregistrare electrică pe placă fotografică	Inregistrare electrică pe film de 10 mm
Felul introducerii în sondă	cu prăjinile	cu cablul trifilar	cu cablul monofilar				cu cablul trifilar	cu cablul monofilar sau cu prăjinile			
Tensiunea curentului continuu [V]	—	100	60	90	60	12	12	12	—	1,5	12
Tensiunea curentului alternativ [V]	—	127/220				—	—	127/220	—	—	—

Se citește la suprafața sondei pe un galvanometru mărimea potențialului electric, iar acesta se calculează în grade sexagesimale

nelimitat

— stratul se află sub apă, mlaștină sau locuri inaccesibile (fig. XI.102, e).
În aceste cazuri și în altele similare, este necesar ca sonda să fie săpată înclinată într-o anumită direcție, spre a ajunge într-un punct dinainte stabilit.
Acest foraj dirijat se poate realiza în mai multe feluri:
— orientînd gaura de sondă de la început în direcția voită;

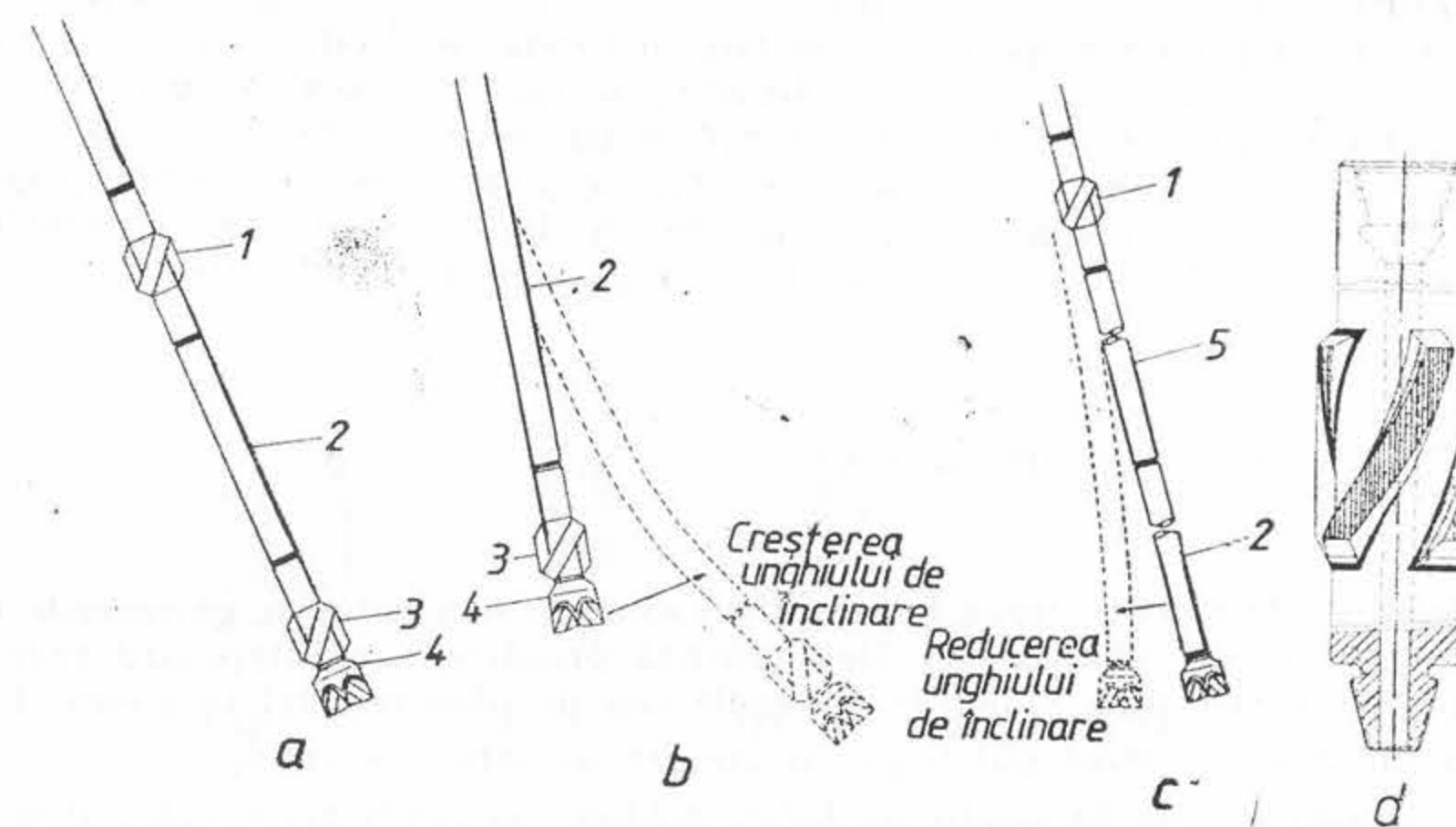


Fig. XI.103. Devierea voită a găurii de sondă cu ajutorul stabilizatoarelor:

a — foraj direcțional cu unghi de înclinare constant; b — foraj direcțional cu creșterea unghiului de deviere (înclinare); c — foraj direcțional cu reducerea unghiului de deviere; 1 — stabilizator pentru garnitura de foraj; 2 — prăjină grea antimagnetice; 3 — stabilizator situat deasupra sapei; 4 — saopă; 5 — prăjină de foraj; d — stabilizator (detaliu).

— dînd găurii sondei o înclinare progresivă în formă de arc;
— executînd un foraj vertical la o adîncime de 50—60 m, după care se imprimă înclinarea în arc.

Devierea voită a unei găuri de sondă se face cu ajutorul unor scule speciale numite *stabilizatoare*, așa cum se vede în fig. XI.103.

3.7.2. PIERDERI DE CIRCULAȚIE

În formațiunile străbătute, uneori se produc pierderi de circulație. Cauzele pierderilor de circulație pot fi de natură geologică sau tehnologică.

Cauzele geologice se datoresc stratelor neconsolidate (nisipuri și gresii), formațiunilor faliatate, prezenței golurilor cavernoase sau a stratelor poroase ai căror pori sînt cel puțin de trei ori mai mari decît particulele maxime ale fluidului de foraj.

Cauzele tehnologice constau fie în creșterea presiunii exercitate pe strat, fie prin debite prea mari de circulație sau prin utilizarea unui fluid calitativ necorespunzător (greutate specifică mare, gelația fluidului etc.).

Detectarea pierderii se face printr-una din metodele actuale: măsurarea vitezei de curgere în spațiul inelar, măsurarea variației de temperatură a fluidului din sondă sau prin tensori radioactivi.

Măsurile de ordin tehnic, de prevenire sau micșorare a cuantumului pierderilor de fluid în formațiunile respective, constau în formarea fluidului adecvat calitativ, căruia i se vor controla frecvent caracteristicile principale: vâscozitate, greutate specifică și gelație. La intrarea în formațiune se aplică un regim de foraj cu presiune axială redusă și debite reduse. Se evită manevrele rapide și pornirile bruște ale pompei. De la caz la caz se mai pot aplica și alte metode, ca: blocarea cu produse lamelare, fibroase și granulare introduse în fluidul de foraj, cimentarea, silicizarea etc.

3.7.3. ACCIDENTE DE FORAJ

Avariile cele mai frecvente, la forajul cu sondeze, se produc la garniturile de foraj (ruperi de prăjini sau smulgeri de filet datorită prinderii sau înțepenirii garniturii în gaura de sondă) sau prin scăpările de scule sau de obiecte mici în gaura de sondă.

Accidentele (avariile) pot fi provocate din următoarele cauze:

- utilizarea unor instalații de foraj, prăjini sau scule necorespunzătoare;
- aplicarea unui regim tehnologic greșit;
- lipsa de calificare a personalului, asociată cu lipsa unui control periodic al operațiilor;
- condiții geologice grele sau speciale.

Pentru rezolvarea accidentelor ce pot surveni în timpul forajului se procedează în felul următor:

Ruperile de prăjini se rezolvă prin introducerea dornului, a tutei sau a coruncii, după cum se prezintă capul-deșurubat sau rupt.

Dornurile se utilizează în două variante de montaj — cu pălărie și fără pălărie. Dornul are filet dreapta sau stînga tăiat pe toată suprafața conică. Pe toată lungimea filetată, dornul are tăiate canale în scopul degajării șpanului în timpul tăierii filetelui în prăjini.

Se utilizează trei tipuri de dornuri:

- tip W normale, pentru prinderea corpului de prăjină tip W (fig. XI.104, a și b; tabelul XI.39);
- tip W scurte, pentru prinderea [niplului de legătură la prăjini tip W (fig. XI.104, c; tabelul XI.40);
- tip Q, pentru prinderea corpului de prăjină tip Q (fig. XI.104, d; tabelul XI.41).

Tuta se folosește pentru prinderea prin înșurubare la exterior a prăjinilor, atunci cînd diametrul prăjinii rămasă în gaura de sondă este prea mic și cînd introducerea dornului nu este posibilă sau nu dă rezultate. Tutele se execută în două variante:

— tip TA și TB (fig. XI.105, a; tabelul XI.42), pentru prăjini cu diametrul de 35,5 mm, 42 mm și 50 mm;

— tip BW și NW (fig. XI.105, b; tabelul XI.43), pentru prăjini de foraj și nipluri seria W.

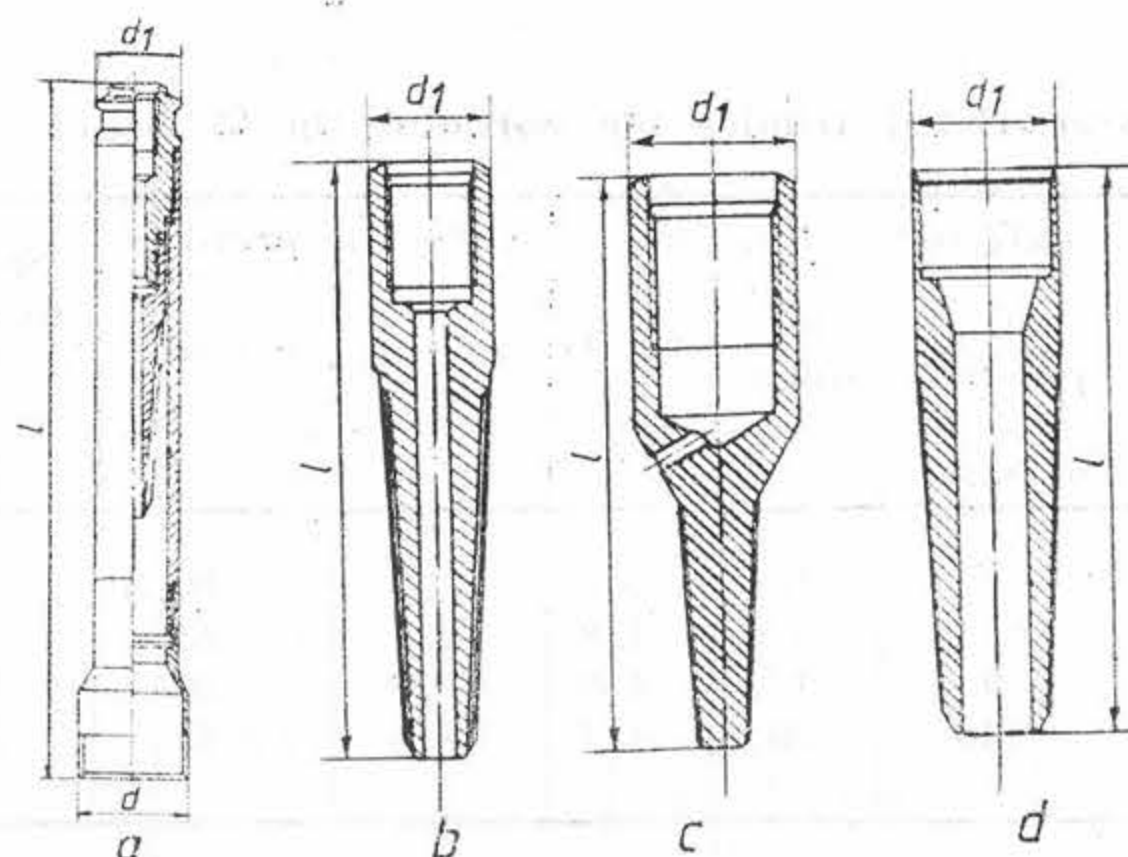


Fig. XI.104. Dornuri pentru instrumentat prăjini.

Corunca (fig. XI.106) este scula care se poate folosi la rezolvarea tuturor cazurilor de rupere sau de smulgere a garniturii de foraj. Ea prinde la exteriorul corpului prăjinilor, prin intermediul unor bacuri dințate. După sistemul de degajare a sculei prinse, coruncile sînt de două tipuri:

- coruncă normală la care degajarea se face prin rotire;
- coruncă cu declanșare, la care degajarea se face prin apăsarea coruncii pe corpul prins, după care se extrage.

Tabelul XI.39

Caracteristici tehnice ale dornului tip W normal

Tipul dornului	Diametrul exterior		Lungimea		Diametrul de prindere		Sarcina maximă de lucru	Masa netă infor- mativă
	al dornului	al pălăriei	dor- nului	totală	minim	maxim		
	d_1 [mm]	d [mm]	l [mm]		mm			
EW	35	56	230	630	17,5	31,5	160	5
AW	43,7	71	240	488	25,4	40	230	7
BW	54	95	273	618	31	49	360	11
NW	66,7	116	305	711	41,2	62,2	430	12

Pentru aducerea garniturii care se instrumentează la centrul găurii de sondă se folosesc *cirlige pentru prins și îndreptat prăjina excentrică* (fig. XI.107).

După înșurubarea dornului, tutei sau coruncii se restabilește circulația și se execută tracțiunea pentru extragere. Aceasta constituie operația curentă în cazul garniturii libere.

Tabelul XI.40

Caracteristici tehnice ale dornului tip W scurt

Tipul dornului	Diametrul exterior		Lungimea		Diam. de prindere		Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
	al dornului	al pălăriei	dor-nului	total	minim	maxim		
	d_1 [mm]	d [mm]	l [mm]		mm		kN	kg
EW	35	56	167	408	7,9	16,8	30	3
AW	43,7	71	176	428	12,7	22	70	6
BW	54	95	190	439	15,8	26	100	8
NW	66,7	116	203	451	31,8	42	280	9

Prinderea garniturii în gaura de sondă. În cazul unei prinderi se exercită imediat o tracțiune cu troliul, pentru degajare.

O prindere poate surveni din cauza crotierei prinse sau în cele mai multe cazuri din cauza dărîmării, manșonării sau acumulării de detritus în talpă sau chiar în gaura-cheie. Degajarea din gaura-cheie se rezolvă nu prin tracțiune, ci din contră, prin lăsarea în jos a garniturii și schimbarea de poziție.

Tabelul XI.41

Caracteristici tehnice ale dornului tip Q

Tipul dornului	Diametrul exterior al dornului	Lungimea dornului	Diametrul de prindere		Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
			minim	maxim		
	d_1 [mm]	l [mm]	mm		kN	kg
BQ	57	265	39	57	170	3
NQ	72	280	53	72	250	4
HQ	92	290	71	92	300	7

În celelalte cazuri, prima măsură este recondiționarea fluidului cu menținerea neîntreruptă a circulației.

În caz de nereușită se va introduce țitei în circuit în pachete, care să se ridice în spatele garniturii pe 50–60 m sau se va face o circulație integrală cu țitei.

Simultan cu procedeele de circulație indicate mai sus, se va face și o tracțiune asupra garniturii, limitată la rezistența prăjinilor, după indicațiile drilometrului.

Obiecte mici seăpate în gaura de sondă. În asemenea cazuri trebuie procedat la o recunoaștere a poziției ce o ocupă obiectul la fund.

Tabelul XI.42

Caracteristici tehnice ale tutelor tip TA și TB

Simbolul tutei	Filetul racordului	d	D	l	L	Diametrul de prindere		Masa
						min.	max.	
		mm				mm		kg
TB 20-36	AW	46	—	240	—	22	29	2
TA ₁ 26-38	AW	56	—	390	—	28	32	4
TB 28-45	BW	57	—	270	—	30	38	3
TA ₁ 34-46	BW	64	—	400	—	36	40	6
TA ₁ 42-54	NW	72	100 120 140	410	530 550 570	44	48	7
TA ₁ 50-68	NW	90	100 120 140	520	630 650 670	52	62	10
TA ₂ 44-48	NW	108	—	550	—	46	81	20

Tabelul XI.43

Caracteristici tehnice ale tutelor tip BW și NW

Dimensiunea nominală a tutei, d	Filetul racordului	Lungimea tutei	Diametrul de prindere		Masa aproximativă
			min.	max.	
			mm		kg
58,0	BW	213	38,9	54,3	1
72,5	NW	241	51,6	67	2
95,2	HW	275	72,2	90	3

În acest scop se introduce un model de ceară simplu cu ajutorul prăjinilor. Alături modelul poate fi executat dintr-un burlan căruia i se sudează în partea inferioară o placă de 15 mm grosime, spre a crea un compartiment în care se toarnă plumb menținut în interior prin sîrmă și cuie (fig. XI.108).

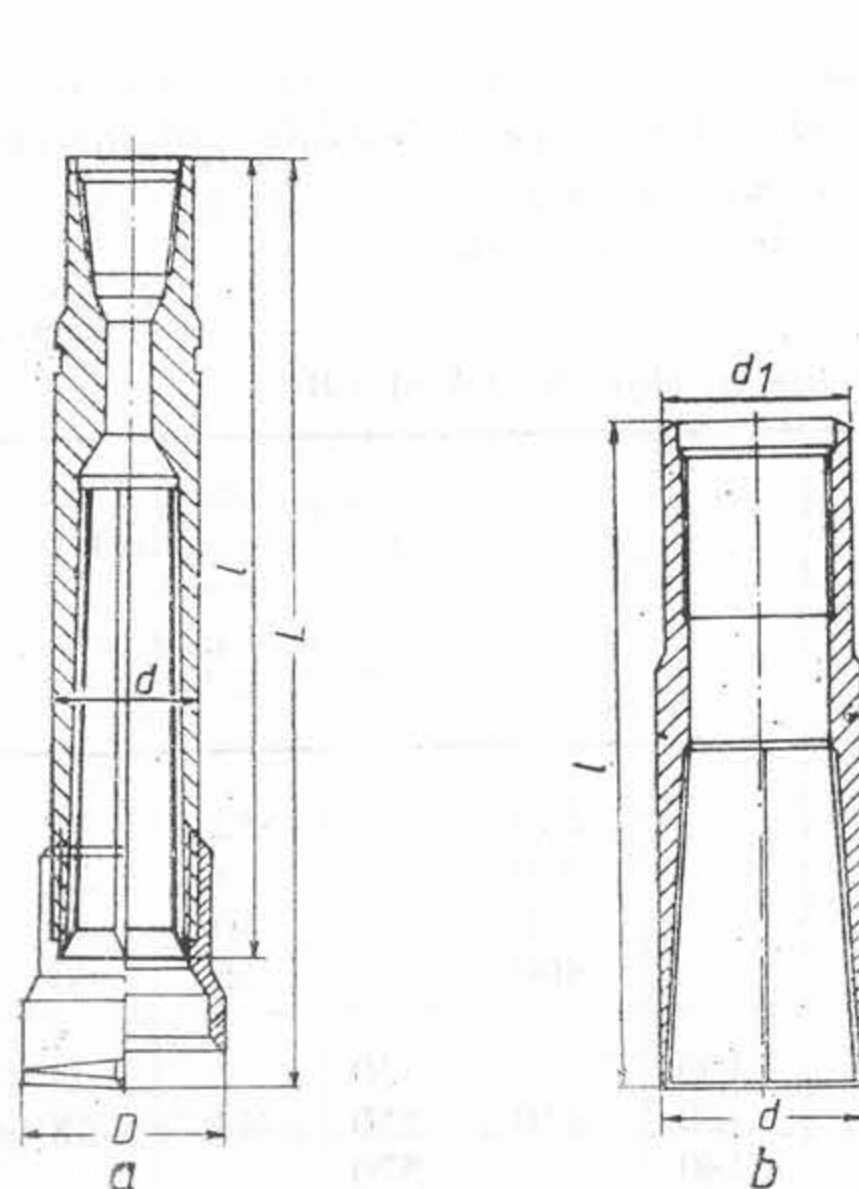


Fig. XI.105. Tute pentru prăjini de sondeze.

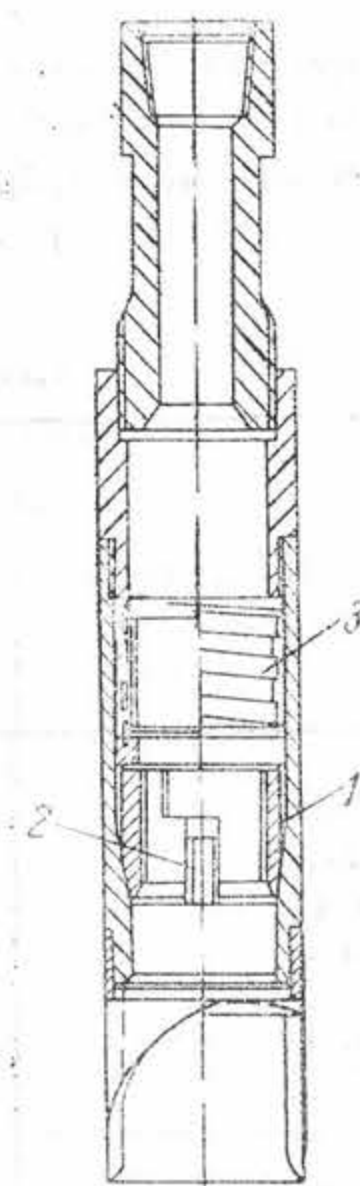
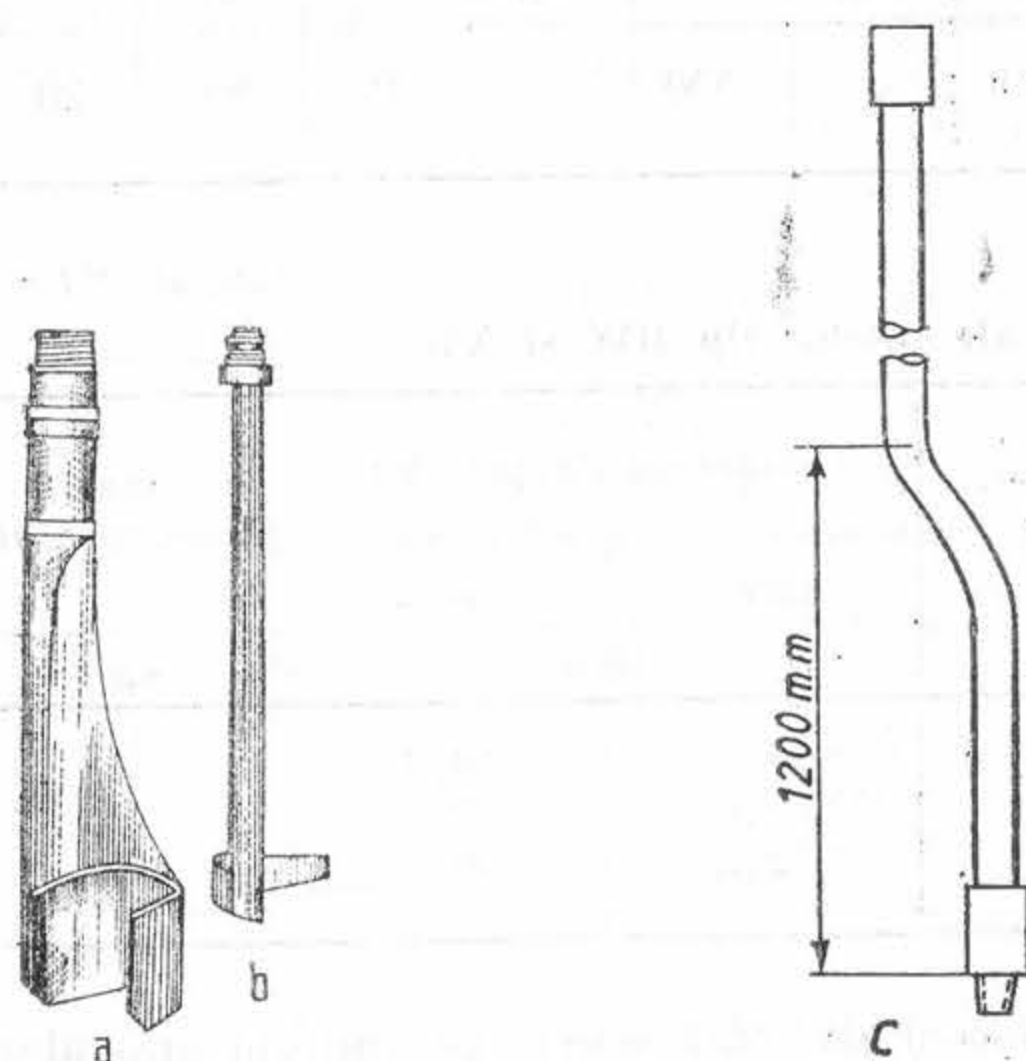
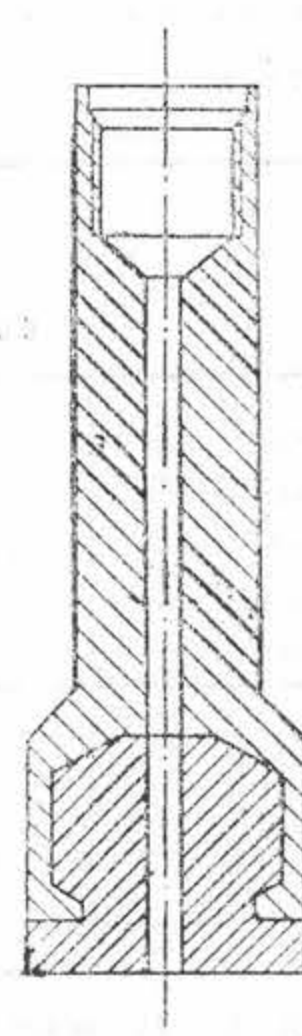
Fig. XI.106. Coruncă:
1 - bacuri; 2 - pene; 3 - arc spiral.Fig. XI.107. Cirlige pentru prins și îndreptat prăjina excentrică:
a—pentru pris; b—pentru îndreptat; c—prăjină excentrică.

Fig. XI.108. Model cu plumb.

Un alt mijloc este folosirea frezei magnetice.

În terenurile moi, obiectele scăpate în gaura de sondă (bacuri de clești, șuruburi, piulițe etc.) sînt împinse în perete de sapa dreaptă.

Sculele de instrumentație folosite pentru prinderea obiectelor căzute în gaura de sondă sînt: gura de lup (fig. XI.109, a), păianjenul (fig. XI.109, b), magnetul pentru instrumentație (fig. XI.109, c), frezele cilindrice (fig. XI.109, d).

Tabelul XI.44

Caracteristici tehnice ale frezelor de aşchiat obiecte metalice

Dimensiunea nominală (filetul de îmbinare)	EW	AW	BW	NW	NW	NW
Diametrul exterior al frezei [mm]	36,8	47,5	59	75	91,5	98,5
Tipul frezei	Cu dinți pe suprafața frontală		Cu dinți pe suprafețele frontală și laterală			
Lungimea frezei [mm]	150	165	220	270	285	300
Masa netă informativă [kg]	0,900	1,280	2,940	5,240	6,470	8,430

Frezele cilindrice sînt de trei tipuri:

— freze tip W, pentru aşchiat obiecte metalice (tabelul XI.44) prevăzute pe suprafața frontală și laterală cu dinți din aliaj dur (fig. XI.109, d₁) sau cu dinți din corp (fig. 109, d₂);

— freze pentru aşchiat prăjini de foraj W (fig. XI.109, d₃) și Q (fig. XI.109, d₄), cu dimensiunile din tabelul XI.45;

Tabelul XI.45

Caracteristici tehnice ale frezelor pentru aşchiat prăjini de foraj

Dimensiunea nominală	BW	NW	BQ	NQ
Filetul de îmbinare	BW	Sz 50	BQ	NQ
Tipul frezei	Cu dinți pe suprafețele frontală și laterală		Cu dinți pe suprafața frontală	
Lungimea frezei [mm]	370	405	130	150
Masa netă informativă [kg]	5,140	8,550	0,470	2,930

— freze cu premăgător pentru aşchiat tuburi carotiere WG (fig. XI.109, d₅, tabelul XI.46), prevăzute cu dinți sub formă de lame din oțel rapid pe suprafața frontală și laterală.

Pentru obiecte mari scăpate se recurge uneori la devierea găurii.

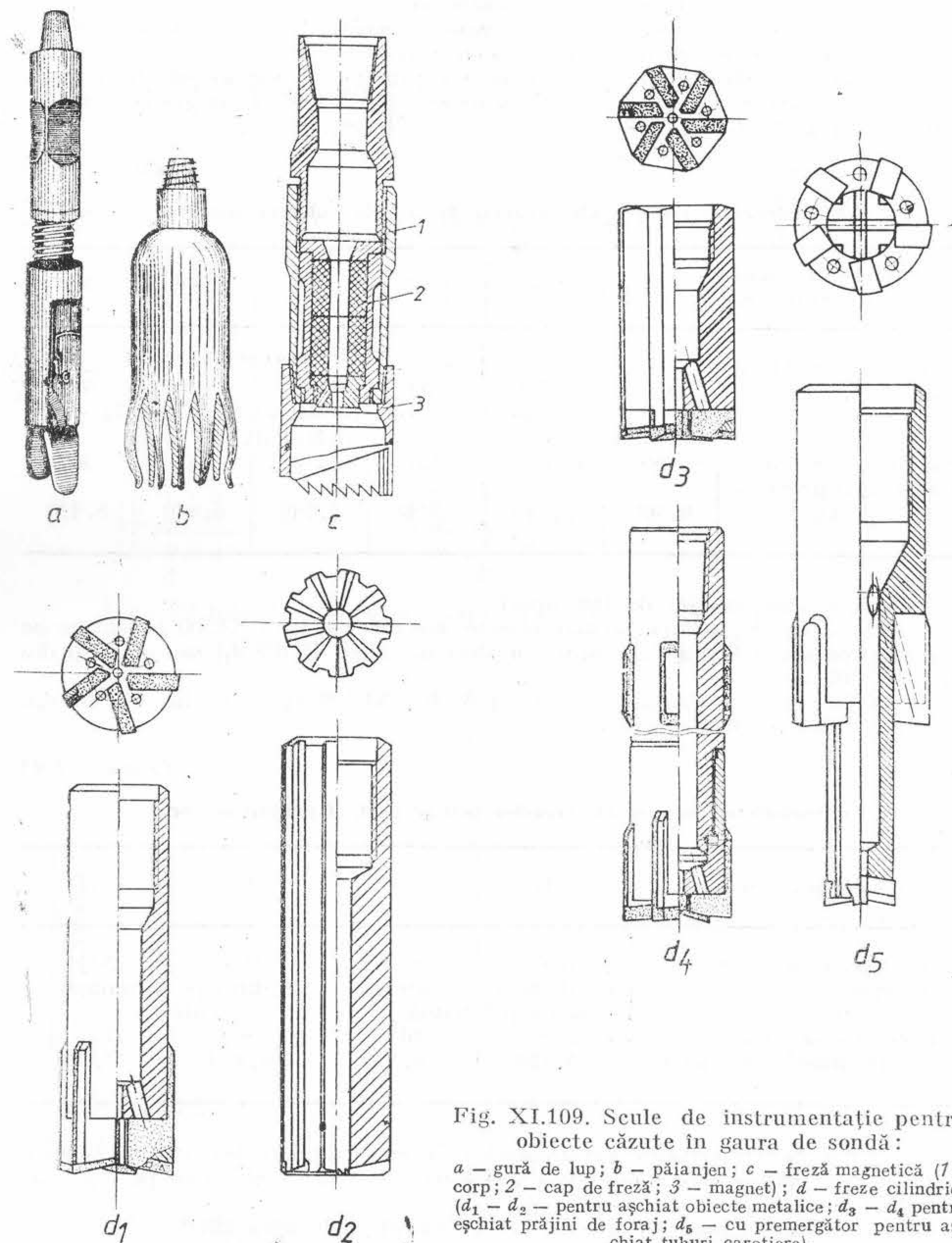


Fig. XI.109. Scule de instrumentație pentru obiecte căzute în gaura de sondă:

a — gură de lup; *b* — păianjen; *c* — freză magnetică (1 — corp; 2 — cap de freză; 3 — magnet); *d* — freze cilindrice (*d*₁ — *d*₂ — pentru așchiat obiecte metalice; *d*₃ — *d*₄ pentru eșchiat prăjini de foraj; *d*₅ — cu premergător pentru așchiat tuburi carotiere).

Cînd obiectul este însă mic și dintr-un material nu prea dur sau cînd terenul este foarte tare, el se poate ataca cu o freză masivă, în scopul de a-l transforma în așchii. Frezele pot fi cu acțiune frontală, acțiune exterioară sau interioară obiectului de frezat.

Tabelul XI.46

Caracteristici tehnice ale frezelor cu premergător

Simbolul tubului de carotieră de frezat	AWG	BWG	NWG	HWG
Diametrul exterior al frezei [mm]	47,5	59	75	98,5
Diametrul exterior al premergătorului [mm]	24	35	48	70
Filetul de îmbinare al frezei	AW	BW	Sz 50	2 3/8
Lungimea frezei [mm]	180	180	200	220
Masa frezei [kg]	0,866	1,078	1,900	4,055

Accidente de burlane. În cazul scăpării de burlane în gaura de sondă sau al smulgerii lor din filet, se introduce un model care atată atît starea mufei cît și adîncimea la care se află. Dacă mufa este bună se va proceda la întregirea coloanei prin introducerea cu ajutorul prăjinilor a unui cep cu filet identic. Dacă partea de jos este ușor ovalizată se va proceda la îndreptarea ei cu ajutorul bîrnelor progresive.

Cabluri rămase în gaura de sondă. Se întîmplă uneori ca instrumentele de măsurat devierea sau cu care se face carotajul electric sau alte operații speciale să se înțepenească în gaura de sondă. În cazul cînd cablul s-a rupt, rămînînd îngămădit în gaura sondei, se va opera cu *cîrligul* (fig. XI.110, *a*) sau cu *ghimparul* (fig. XI.110, *b*). Cîrligul are un cioc de prins la partea de jos, iar ghimparul mai multe ciocuri laterale.

În cazul înțepenirii aparatului de măsură introdus cu cablu, degajarea cablului se face prin tăiere cu ajutorul unui *cuțit* (fig. XI.110, *c*), imediat deasupra aparatului înțepenit. După tăierea și extragerea cablului se instrumentează pentru extragerea aparatului rămas în gaura de sondă.

Procedeele de lucru și sculele folosite aparțin unui domeniu foarte variat, în care practica, ingeniozitatea și perseverența trebuie împletite pînă la rezolvarea cazului.

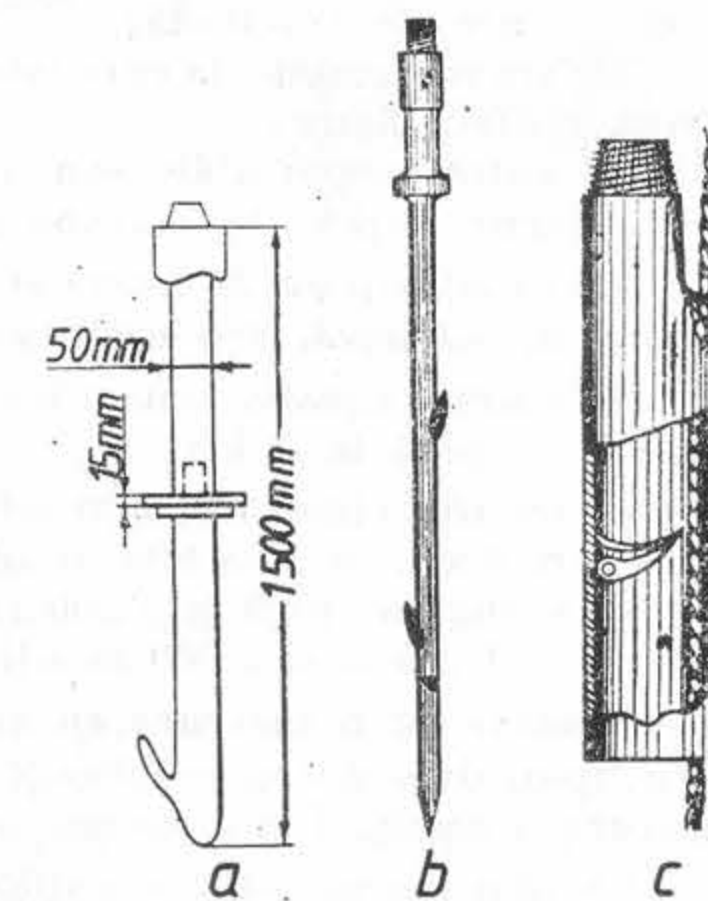


Fig. XI.110. Scule pentru rezolvarea accidentelor tehnice provocate de ruperea cablului.

3.8. INSTALAȚII DE FORAJ — SONDEZE MECANICE

Sondezele mecanice sînt construite pentru adîncimi care variază de la 50 pînă la 2 000 m.

O instalație de foraj cu sondeze mecanice constă din următoarele părți:

- turla, trepiedul sau mastul cu geamblacul și macaraua;
- troliul de manevră cu angrenajele respective;
- dispozitivul de rotire;
- dispozitivul de avansare;
- pompa de noroi cu anexe sale;
- instalația de forță.

Caracteristice pentru sondezele mecanice sînt dispozitivele de rotire și de avansare, care se deosebesc de mecanismele cunoscute la granițele de mare adîncime.

După modul de acționare a dispozitivului de avansare, sondezele mecanice rotative se clasifică în:

- sondeze cu manevrarea dispozitivului de avansare și de rotire cu aer comprimat;

- sondeze cu manevrarea sistemului de avansare hidraulic.

După felul transportului și montajului, sondezele se clasifică în:

- portabile, care sînt ușoare și se pot transporta ușor în subansambluri;
- staționare sau fixe, care necesită fundații la fiecare locație;
- semitransportabile, la care unele subansambluri se transportă, altele sînt fixe pe sănii care se tractează;
- transportabile, la care întreaga instalație este fixată pe o platformă prevăzută cu roți, șenile, sănii;
- autotransportabile sau autopurtate, care au toate subansamblurile montate pe un singur mijloc de transport — camion, tractor etc.

După adîncimea de forare și după capacitatea de susținere și manevrare a echipamentului de manevră, sondezele se clasifică în:

- foarte ușoare, cu adîncime de forare pînă la circa 50 m și capacitate de susținere de pînă la 5 kN;
- ușoare, pînă la 200 m adîncime și circa 20 kN capacitate de susținere;
- mijlocii, pînă la 600 m adîncime și circa 50 kN capacitate de susținere;
- semigrele, pînă la 1 200 m adîncime și circa 125 kN capacitate de susținere;
- grele, pînă la 2 000 m adîncime și circa 200 kN capacitate de susținere.

Sondeze cu manevrare cu aer comprimat a dispozitivului de avansare și rotire.

Aceste tipuri de sondeze se folosesc în lucrările subterane unde există instalații de producere a energiei sub forma aerului comprimat.

Ele sînt folosite atît în explorare, pentru cercetarea zonelor mineralizate cuprinse între diferite lucrări miniere, cît și în exploatare, pentru executarea suitorilor, sau la săparea lucrărilor miniere orizontale și verticale.

După adîncimea pînă la care pot să foreze și după modul în care se fixează instalația mecanică de foraj, se cunosc sondeze acționate cu aer comprimat, folosind o singură coloană de fixare și sondeze cu două coloane de fixare. Cu primele se pot foră găuri de sondă pînă la adîncimea de 100 m, iar cu celelalte pînă la 200 m.

Sondeze cu manevrare hidraulică a dispozitivului de avansare. Sondezele de acest tip prezintă o perfecționare a instalațiilor de foraj, atît sub aspectul construcției cît și al modului de funcționare.

Din tipul de sondeze cu avansare hidraulică fac parte sondezele de construcție romînească seria SG, sondezele de construcție sovietică ZIF, precum și numeroase alte instalații cu construcție străină.

Mecanismul de avansare cu piston cu unul sau doi cilindri, acționat hidraulic, este aplicat la majoritatea sondezilor de la adîncimea de 200 m pînă peste 2 000 m.

Schema generală a sistemului de avansare hidraulică este redată în fig. XI.111.

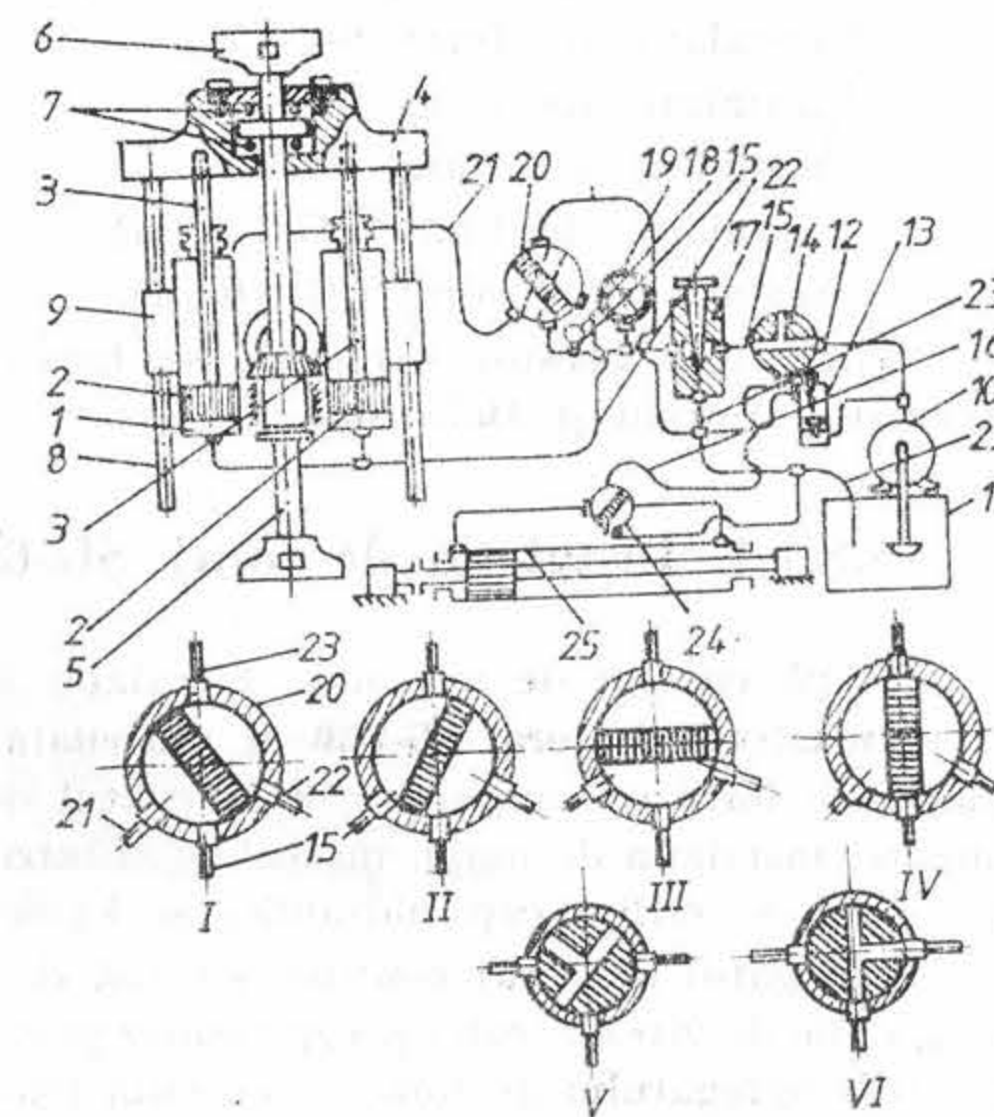


Fig. XI.111. Schema generală a sistemului de avansare hidraulică.

Sistemul de avansare hidraulic constă în doi cilindri 1 cu pistoanele 2 și tijele lor 3. În partea superioară tijele sînt prinse în traversa 4, care este solidarizată cu capul rotativ 5 cu mandrinele 6, fixat la rîndul său pe rulmenții de presiune 7. De corpul capului rotativ sînt fixate două bușe de bronz 9, prin care trec tijele de ghidaj 8 legate de traversă și care au rolul de a elimina vibrațiile și de a da o soliditate mai mare construcției. Tijele sînt gradate în centimetri, astfel că se poate observa în tot momentul viteza mecanică de avansare.

Mecanismul de avansare este prevăzut cu o pompă de ulei 10, care împinge uleiul din rezervorul 11 în conductele 12. Pe conductă este fixată o supapă de siguranță 13 și o cană 14, prevăzută cu trei căi. Uleiul trece fie prin cilindrii de avansare 15, fie spre cilindrul 16 de deplasare pe orizontală a granicului. Presiunea uleiului din cilindri este reglată prin ventilul 17. Pentru controlul presiunii, sistemul hidraulic este prevăzut cu manometrul 18, iar pentru controlul apăsării pe talpă, sistemul are un indicator de greutate 19. Prin distribuitorul 20 se face legătura circuitului hidraulic cu partea inferioară sau superioară a cilindrilor pe conductele 21 și 22. Evacuarea uleiului din cilindri se face prin conducta de scurgere 23.

Pentru deplasarea pe orizontală a granicului în scopul eliberării găurii de sondă, instalația este prevăzută cu un cilindru hidraulic cu piston așezat sub granic.

3.8.1. INSTALAȚII PENTRU FORAJ DE EXPLORARE FABRICATE ÎN ROMÂNIA

Instalațiile de foraj de explorare fabricate în România, sub denumirea de *instalații de foraj geologic*, se execută în următoarele tipuri:

- instalație de foraj SG-650 M;
- instalație de foraj SG-150;
- instalație de foraj FG-8;
- instalație de foraj FG-5;
- instalație de foraj FG-1,2 M;
- instalație de foraj FG-0,63 D.

Fabricarea acestor instalații se face de către uzinele constructoare de mașini Tîrgoviște, Giurgiu și Baia Mare.

3.8.1.1. Instalația de foraj SG-650 M

După energia de acționare instalația se execută în trei variante:

Instalația de foraj SG-650 M antrenată de un motor Diesel (varianta I). Instalația de foraj se compune din agregatul de foraj, grupul motor Diesel, grupul de pompare, instalația de noroi, mastul cu substructura, echipamentul de manevră (geambac, macara, cârlig, cap hidraulic) și baracă (fig. XI.112).

Agregatul de foraj conține o șaibă de antrenare prin curele trapezoidale, ambreiaj, cutie de viteze, trolu și cap rotativ prevăzut cu mandrină hidraulică și manuală. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prărinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic. Comenzile și apa-jatura sînt centralizate la un pupitru de comandă.

Grupul motor Diesel este dotat cu ambreiaj cu fricțiune și cuplaj hidraulic.

Grupul de pompare este format dintr-o cutie de viteze, pompa de noroi și manifoldul de refulare.

Agregatul de foraj se sprijină pe o substructură metalică împreună cu mastul rabatabil. Operația de rabatare se execută cu ajutorul agregatului de foraj.

Instalația de foraj SG-650 M antrenată de motoare electrice (varianta II).

Această variantă este asemănătoare variantei I, cu deosebirea că agregatul de foraj și grupul de pompare sînt antrenate separat prin motoare electrice (fig. XI.113).

Instalația de foraj geologic SG-650 M cu antrenare independentă pentru grupul de foraj și grupul de pompare (varianta III). Instalația (fig. XI.114) se compune din:

- grupul de foraj alcătuit din agregatul de foraj al instalației SG-650 M antrenat de către un motor Diesel și montat pe două sănii de transport;
- grupul de pompare alcătuit din pompa 2PN-35, cutie de viteză, motor Diesel, montat pe sanie;
- mast în formă de trepied special amenajat pentru foraje înclinate.

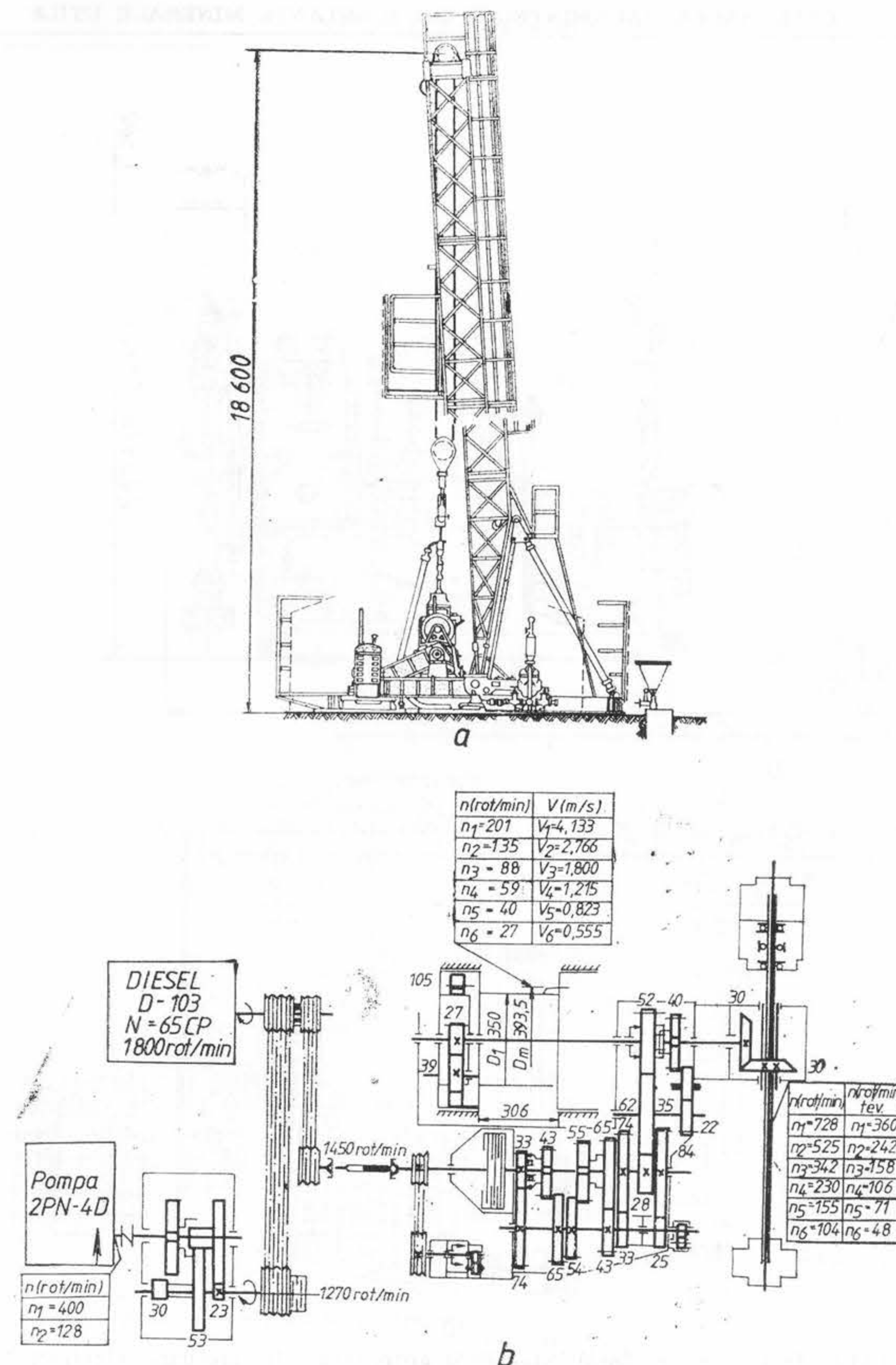


Fig. XI.112. Instalație SG-650 acționată cu motor Diesel (variantă I):
a — vedere de ansamblu; b — schema cinematică.

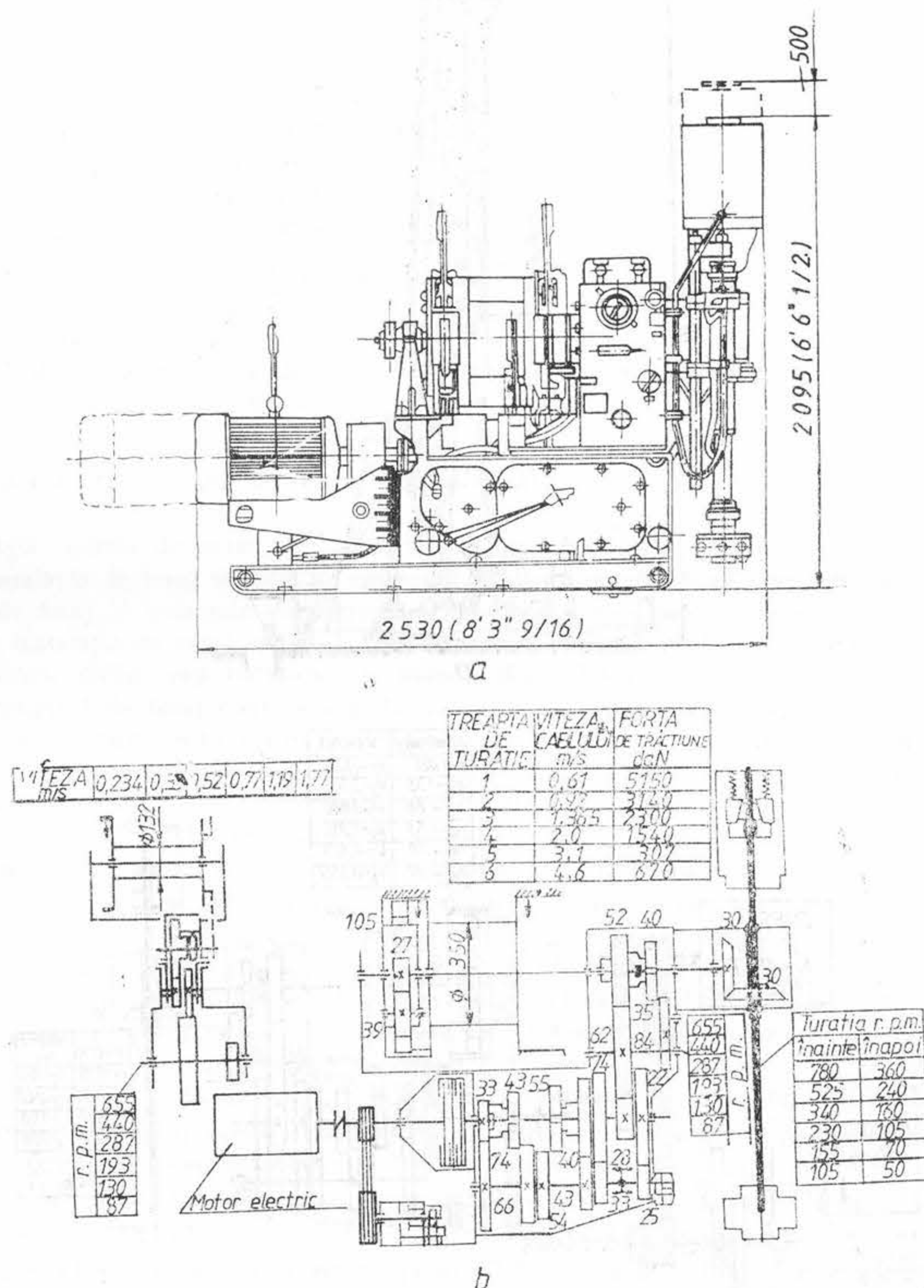


Fig. XI.113. Instalația de foraj SG-650 M antrenată de motoare electrice (varianta II):

a — agregatul de foraj; b — schema cinematică.

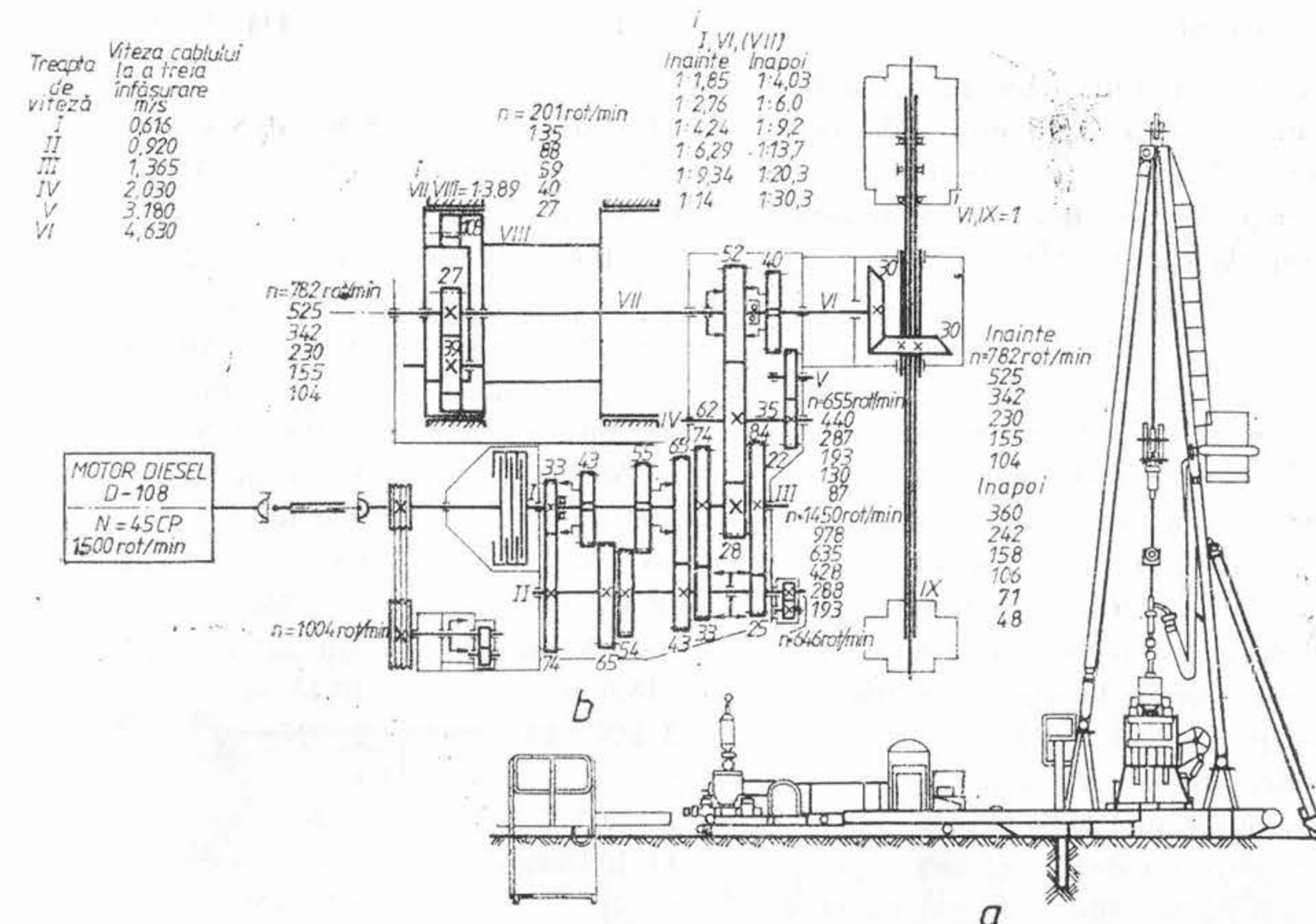


Fig. XI.114. Instalația de foraj SG-650 M cu antrenare independentă pentru grupul de foraj și grupul de pompare (varianta III):

a — vedere de ansamblu; b — schemă cinematică.

Caracteristici tehnice

Variante	I	II	III
Adâncimea de foraj, cu prăjini:			
BW 53,97 mm; $q = 6,85$ kg/m	1200 m		1000 m
NW 66 mm; $q = 8,9$ kg/m	850 m		790 m
Diametrul găurii forate			
— maxim (inițial)	214 mm		214 mm
— minim (final)	59 mm		59 mm
Sarcina normală la cîrlig	12 500 daN		pe două fire 6 500 daN
Sarcina maximă la cîrlig	20 000 daN		10 000 daN
Cursa de retractare a agregatului de foraj	500 mm		500 mm
Puterea motorului de antrenare a agregatului	65 CP; 30 kW		65 CP
Puterea motorului de antrenare a pompei de noroi	65 CP; 30 kW		65 CP
Numărul treptelor de viteză la troliu	6 + 6 revers		6 + 6 revers

Variante	I	II	III
Forța de tracțiune max. în cablu la toba trolului (cablu Ø 16 mm — 5/8 in)	5 000 daN		5 000 daN
Viteza cablului la toba trolului	0,55...4,13 m/s		0,55...4,13 m/s
Nr. treptelor de viteză la capul rotativ	6 + 6 revers		6 + 6 revers
Turația la capul rotativ	dr. 104...782 rot/ min st. 48...360 rot/ min		dr. 104...782 rot/ min st. 48...360 rot/ min
Forța max. de ridicare hidraulică	10 000 daN		10 000 daN
Forța max. de apăsare hidraulică	8 500 daN		8 500 daN
Cursa fusului principal	500 mm		500 mm
Diametrul de trecere prin fus	68 mm		68 mm
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°		0...360°
Momentul de strângere la mandrine	360 daNm		360 daNm
Înălțimea geamblacului în poziție de lucru	18,6 m		10,15 m
Tipul pompei de noroi	2 PN-40		2 PN-40
Numărul habelor de noroi	4		4
Capacitatea unei habe	2 350 l		2 350 l
Denisipator cu două cicloane	Ø 100 mm		—
Unghiul pentru foraj înclinat cu mast	90° la 75°		90°—45°
Masa totală a instalației, kg	17 000; 16 080		14 140
Masa agregatului de foraj, kg	2 475; 2 619		3 543
Masa grupului de pompare, kg	1 033; 1 380		2 565

3.8.1.2. Instalația de foraj SG-150

După destinație, energia de acționare și gradul de mobilitate instalația se execută în trei variante:

Instalația de foraj SG-150 autotransportabilă antrenată de la motorul moto (varianta I). Ansamblul format din agregatul de foraj acționat hidrostatic, circuit hidrostatic, transmisii, pompa de noroi, motor și echipamentul de manevră (geamblac, cablu de manevră, suvei și cap hidraulic) se montează pe un autovehicul utilitar TV12, cu două diferențiale (fig. XI.115).

Agregatul de foraj este retractabil și se compune din motor hidrostatic, multiplicator, cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de distribuție, trolu, cap rotativ prevăzut cu mandrină hidraulică și mandrină mecanică, circuit de ungere.

Comenzile și aparatura sînt centralizate la un pupitr de comandă.

Transmisia se compune din priză de putere flanșată pe cutia de viteze a autovehiculului, arbore cardanic și cutie de distribuție.

Cutia de distribuție transmite fluxul de putere la o pompă hidrostatică ce acționează hidrostatic motorul agregatului de foraj și la o roată de curea care antrenează, prin 3 curele trapezoidale, pompa de noroi 3PN-10.

Șasiul autovehiculului este special amenajat spre a permite montarea agregatului de foraj, a pompei de noroi și a rezervorului de ulei, a mastului și anexelor.

Mastul se rabate hidraulic, în timpul transportului se așază orizontal pe un suport prevăzut pe cabina auto.

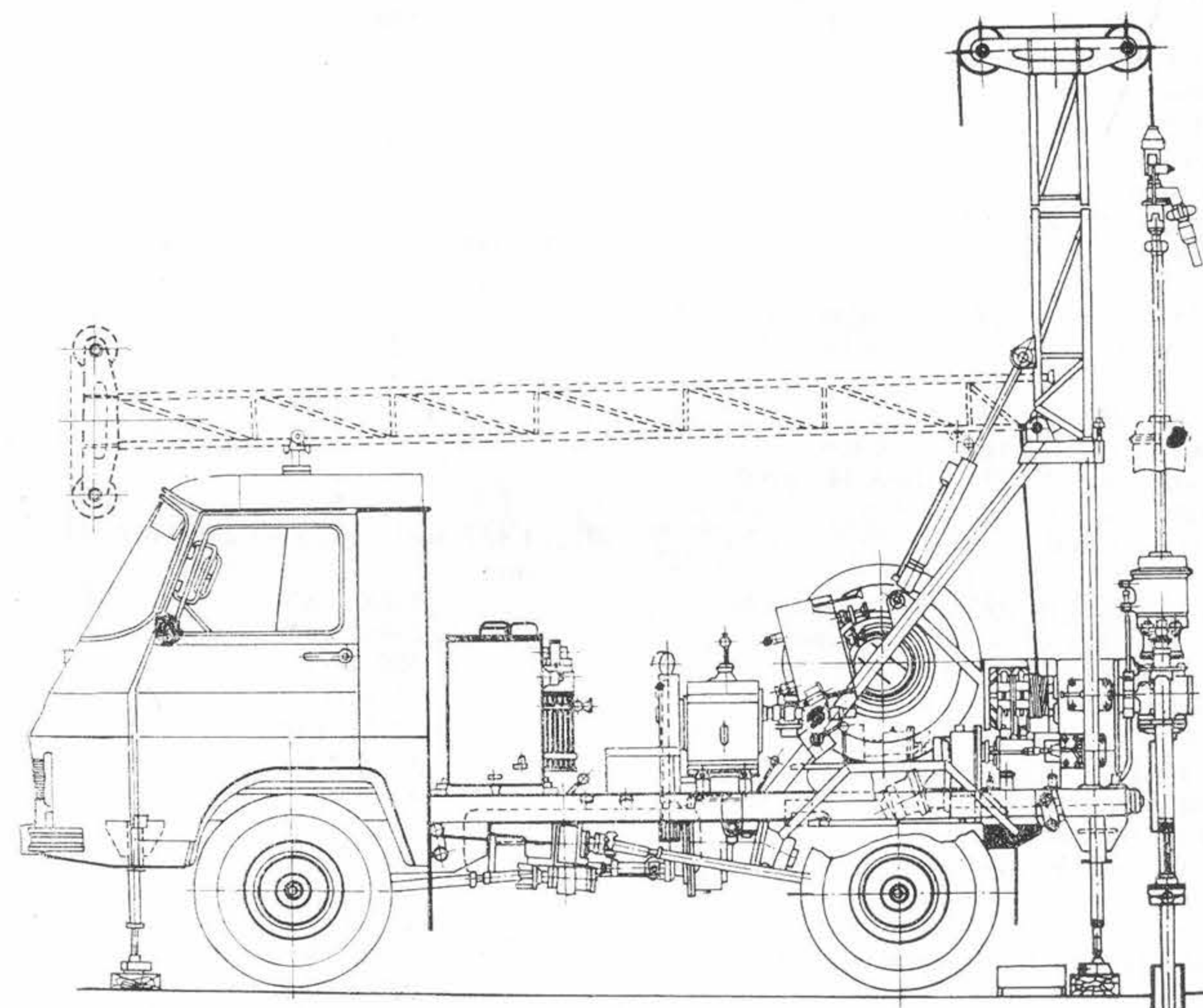


Fig. XI.115. Instalația de foraj SG-150 autotransportabilă (varianta I).

Instalația de foraj SG-150 staționară (pe sanie) cu mast, antrenată de motoare electrice (varianta II și IV). La această variantă agregatul de foraj — același ca la varianta I — este asamblat pe o sanie și antrenat de un motor electric.

Pompa de noroi, antrenată de un motor electric prin transmisii cu curele trapezoidale, constituie un grup electropompă montat deasupra habe de noroi.

De sania agregatului de foraj se prind suportii pe care este articulat mastul.

Instalația de foraj SG-150 staționară (pe sanie) antrenată de motoare electrice, destinată lucrărilor în galerii subterane (varianta III). Această variantă este la fel cu varianta II, cu diferența că nu are mast. Geamblacul se fixează pe două grinzi încastate în pereții galeriei subterane.

Caracteristici tehnice

Varianta	I	II	III	IV
Adâncimea de foraj, cu prăjini:				
— EW — 34,92 mm; $q = 4,54$ kg/m			250 m	
— AW — 44,45 mm; $q = 5,3$ kg/m			180 m	
Diametrul găurii forate				
— maxim (inițial)			100 mm	
— minim (final)			38 mm	
Sarcina normală la cirlig			1 100 daN	
Cursa de retractare a agregatului de foraj			275 mm	
Puterea motorului de antrenare a agregatului	13 kW/3 000 rot/min		7,5 kW/1 500 rot/min	
Puterea motorului de antrenare a pompei		5,5 kW		
Numărul treptelor de viteză la trolu		3		
Forța de tracțiune maximă în cablu la toba trolului (cablu Ø 9 mm)		1 150 daN		
Viteza cablului la toba trolului	0,6...2,5 m/s		0,3—1,25 m/s	
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ		6		
Turația la capul rotativ	240...1 437 rot/min		125—1 250 rot/min	
Forța maximă de ridicare hidraulică		3 000 daN		
Forța maximă de apăsare hidraulică		2 440 daN		
Cursa fusului principal		550 mm		
Diametrul de trecere prin fus		53 mm		
Unghiul de rotire al capului rotativ		0° la 360°		
Momentul de strângere la mandrine		33 daNm		
Înălțimea geamblacului în poziția de lucru		6,1 m		
Tipul pompei de noroi		3 PN—10		
Numărul habelor de noroi		1		
Capacitatea unei habe		700 l		
Denisipator		Ø 70 mm		
Unghiul pentru foraj înclinat cu mast		numai vertical		
		90° la 70°		
Masa totală a instalației	2 893 kg;		2 030 kg;	2451 kg
Masa grupului de foraj inclusiv mast	490 kg;	760 kg;	554 kg;	
Masa grupului de pompare	115 kg;		214 kg;	214 kg

3.8.1.3. Instalația de foraj FG-8

Instalația de foraj geologic FG-8 se execută în următoarele variante:

Instalația de foraj geologic FG-8 — varianta termică staționară (varianta I). Instalația de foraj se compune din: grup de foraj, grup de pompare, instalație de noroi, mast cu substructură, echipament de manevră (geamblac, manșon conic, sanie, elevator, cap hidraulic) și baracă.

Grupul de foraj se compune din agregat de foraj și grup motor Diesel montate pe o sanie (fig. XI.116).

Motorul de acționare împreună cu agregatul de foraj formează o construcție unitară, retractarea din poziția de foraj în poziția de manevră — eliberarea gurei sondei — făcându-se împreună.

Agregatul de foraj se compune din următoarele subansamble: cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de viteze, cutie de distribuție, toba de manevră și sistem de frinare, cîte două capete rotative, mandrine hidraulice și mandrine mecanice, cu diametrul

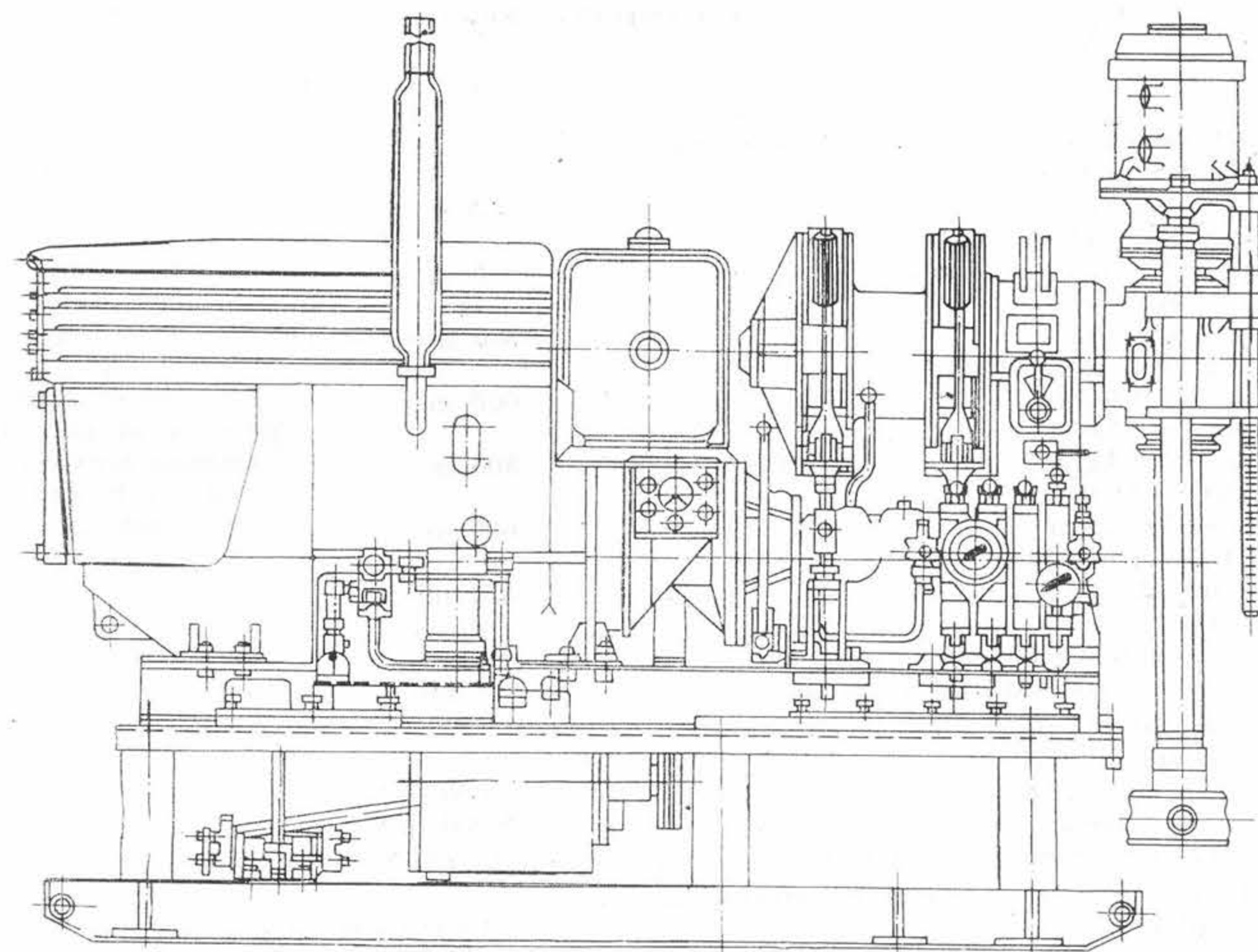


Fig. XI.116. Grupul de foraj al instalației de foraj FG-8, acționat cu motor termic.

interior al fusului de 76 mm și de 92 mm și toba carotieră introductibilă-opțional. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prăjinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic, cu ajutorul unei instalații hidrostatice prevăzută cu o pompă cu pistoane axiale cu debit variabil și o pompă manuală. Pompa cu debit variabil este dotată cu un regulator de presiune care adaptează automat debitul pompei la regimul de lucru, funcționare cu consum minim de putere pentru carotaj cu apăsare hidraulică.

Grupul motor Diesel conține instalația de răcire, instalația de alimentare, rezervor de motorină, sistemul de comandă, instalația electrică și pupitrul de comandă, asamblate într-o unitate distinctă.

Grupul de pompare este montat separat pe o sanie și se compune dintr-un motor Diesel, ambreiaj, cutie de viteze și pompă de noroi.

Instalația de foraj geologic FG-8 — varianta electrică staționară pe sanie (varianta II). Această variantă este identică cu varianta I, cu deosebirea că grupurile motor Diesel sunt înlocuite cu câte un motor electric.

Caracteristici tehnice

	I	II
Adâncimea convențională de foraj cu prăjini:		
50 RS — 50 mm	500 m	
$q = 6,7$ kg/m		
SzAW — 44,45 mm	935 m	
$q = 5,3$ kg/m		
SzBW — 53,97 mm	800 m	
$q = 6,85$ kg/m		
SzNW — 66,68 mm	600 m	
$q = 8,9$ kg/m		
BQ — 55,6 mm	800 m	
$q = 5,9$ kg/m		
NQ — 69,9 mm	600 m	
$q = 7,6$ kg/m		
Diametrul găurii forate:		
inițial	151 mm	
final		
— coroane cu diamante	59 mm	
— coroane cu carburi metalice	99 mm	
Capacitatea de ridicare la cîrlig (sistem de manevră pe 2 fire):		
— nominal	5 000 daN	
— maxim	8 000 daN	
Diametru/lungime cablu manevră	16 mm/50 m	
Puterea/turația motorului de antrenare a agregatului	55 CP/2 400 rot/min; 30 kW/1 460 rot/min	
Puterea/turația motorului de antrenare a pompei de noroi	55 CP/2 400 rot/min; 45 kW/1 465 rot/min	
Cursa de retractare a agregatului de foraj	400 mm	
Numărul treptelor de viteză la troliu	5	
Vitezele de ridicare la cîrlig	0,39...2,62 m/s	
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ	10 + 2 rev.	
Turațiile la capul rotativ Ø 76:		
— gama încet	120; 210; 330; 550; 785 rot/min	
— gama repede	245; 420; 660; 1 100; 1 570 rot/min	
— revers	110; 220 rot/min	

	I	II
— gama încet	100; 180; 280; 465; 665 rot/min	
— gama repede	200; 360; 560; 930; 1 330 rot/min	
— revers	95; 190 rot/min	
Forța de ridicare hidraulică	10 000 daN	
Forța de apăsare hidraulică	7 500 daN	
Viteza de ridicare fus max.	4 m/min	
Viteza de coborîre fus max.	5,35 m/min	
Moment max. la capul rotativ	240/360 daNm	
Diametrul de trecere prin fusul rotativ	76; 92 mm	
Cursa fusului capului rotativ	650 mm	
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°	
Capacitatea în cablul tobei carotierei introductibile	500 daN	
Diam./lungime cablu carotieră introductibilă	6 mm/800 m	
Vitezele cablului	0,142...1,47 m/s	
Grup de pompare acționat independent cu motor	Diesel electric	
Debit teoretic	31—450 l/min	
Pompă de noroi tip	3 PN — 40	
Presiunea maximă	100 daN/cm ²	
Numărul habelor de noroi	2	
Capacitatea unei habe	2 100 l	
Denisipator	Ø 70 mm	
Mast tip	Construcție metalică rabatabilă	
Unghiul de foraj înclinat cu mast	0—45°	
Înălțimea sol — axa geamblacului	14,5 m; 14,5 m	
Lungimea pasului de manevră	12,5 m; 12,5 m	
Masa instalației cu agregat de foraj și tobă carotieră introductibilă	8 970 kg; 8 360 kg	

3.8.1.4. Instalația de foraj FG-5

După destinație, energia de acționare și gradul de mobilitate, instalația se execută în patru variante:

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta termică, transportabilă (pe remorcă) antrenată de un motor Diesel (varianta I). Instalație de foraj (fig. XI.117) se compune din grup de foraj, grup de pompare, instalația de noroi, mast cu substructură și echipament de manevră.

Grupul de foraj este compus din agregat de foraj și grup motor Diesel montate pe o remorcă monoax.

Motorul de acționare împreună cu agregatul de foraj formează o construcție unitară, retractarea din poziția de foraj în poziția de manevră — eliberarea gurii sondei făcându-se împreună.

Agregatul de foraj se compune din următoarele subansamble: cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de viteze, cutie de distribuție, tobă de manevră și sistem de frinare.

cite două capete rotative, mandrine, mandrine hidraulice și mandrine mecanice, cu diametrul interior al fusului de 76 mm și de 92 mm și tobă carotieră introductibilă-optional. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prăjinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic cu ajutorul unei instalații hidrostatice prevăzută cu o pompă cu pistoane axiale cu debit

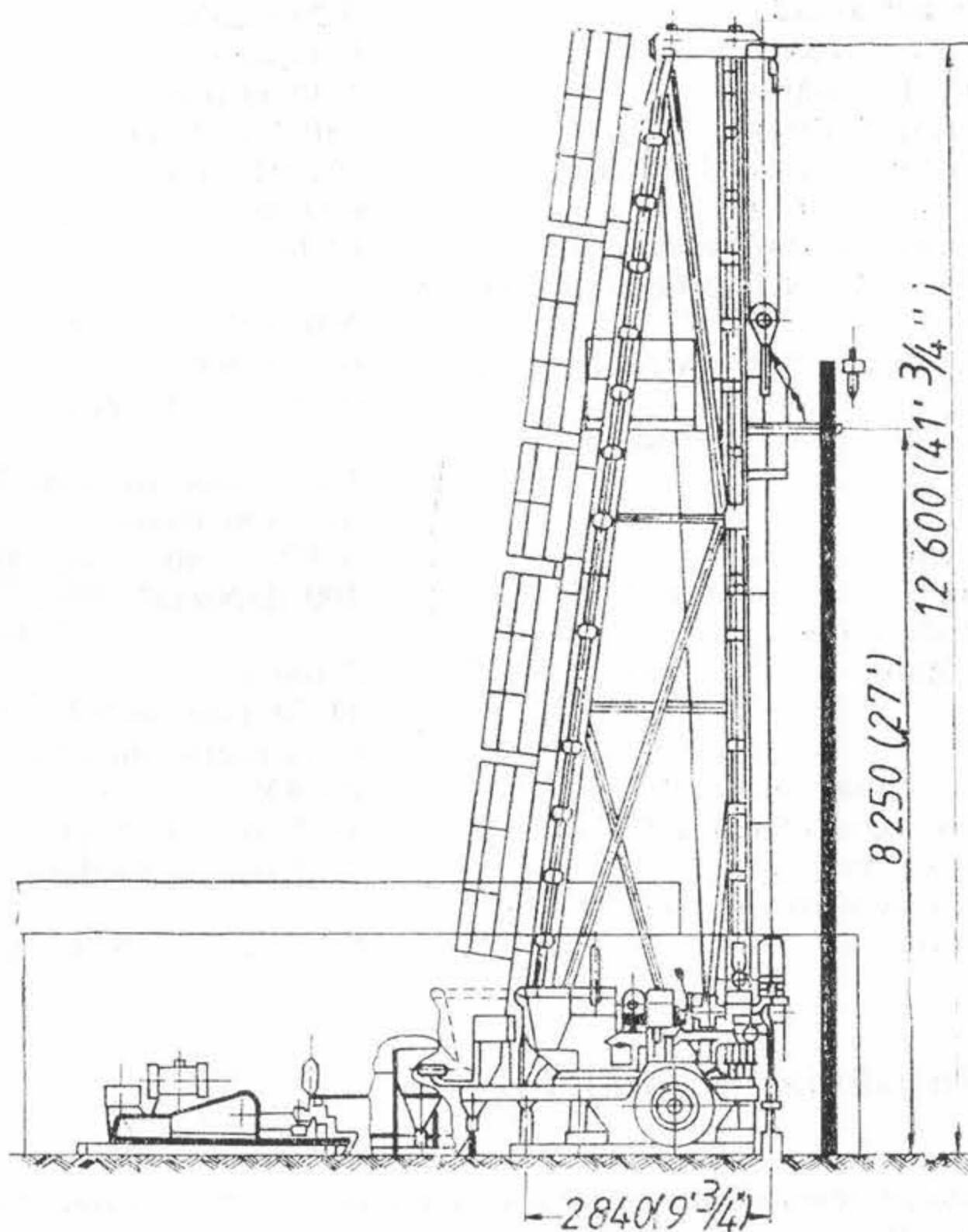


Fig. XI.117. Instalația de foraj FG-5 transportabilă (pe remorță), varianta I.

variabil și o pompă manuală. Pompa cu debit variabil este dotată cu un regulator de presiune care adaptează automat debitul pompei la regimul de lucru, funcționare cu consum minim de putere pentru carotaj cu apăsare hidraulică.

Grupul motor Diesel conține instalația de răcire, instalația de alimentare, rezervor de motorină, sistemul de comandă, instalația electrică și pupitrul de comandă, asamblate într-o unitate distinctă.

Grupul de pompare este montat separat pe o remorță monoax și se compune dintr-un motor Diesel și pompă de noroi.

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta termică pe sanie (varianta II). Instalația are componența primei variante, având agregatul de foraj și grupul de pompare staționare, montate pe sanie.

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta electrică pe sanie (varianta III). Această variantă este identică cu varianta II, cu deosebire că grupurile motor Diesel sînt înlocuite cu cîte un motor electric.

Instalație de foraj geologic FG-5 — varianta electrică pe sanie în montaj pentru subteran (varianta IV). Această variantă este identică cu varianta III, cu deosebire că nu are mast. Geamblacul este fixat pe două grinzi încastate în pereții galeriei subterane.

Caracteristici tehnice

	I	II	III	IV
Adîncimea de foraj cu prăjini:				
50 RS — 50 mm		300 m		
$q = 6,7$ kg/m				
SzaW — 44,45 mm				
$q = 5,3$ kg/m		600 m		
SzBW — 53,97 mm				
$q = 6,85$ kg/m		500 m		
SzNW — 66,68 mm				
$q = 8,9$ kg/m		400 m		
BQ — 55,6 mm				
$q = 5,9$ kg/m		500 m		
NQ — 69,9 mm				
$q = 7,6$ kg/m		400 m		
Diametrul găurii forate:				
inițial		151 mm		
final				
— coroane cu diamante		59 mm		
— coroane cu carburi metalice		99 mm		
Capacitatea de ridicare la cîrlig (sistem de manevră pe 2 fire)				
— nominal		3 200 daN		
— maxim		5 000 daN		
Diametru/lungime cablu manevră		16 mm/50 m		
Puterea/turația motorului de antrenare a agregatului		45 CP/2 400 rot/min; 22 kW/1 450 rot/min		
Puterea/turația motorului de antrenare a pompei de noroi		45 CP/2 400 rot/min; 22 kW/1 450 rot/min		
Cursa de retractare a agregatului de foraj		400 mm		
Numărul treptelor de viteză la troliu		5		
Vitezele de ridicare la cîrlig		0,39...2,62 m/s		
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ		10 + 2 rev.		
Turațiile la capul rotativ				
— Ø 76				
— gama încet		120; 210; 330; 550; 785 rot/min		

	I	II	III	IV
— gama repede	245; 420; 660; 1 100;			
	1 570 rot/min			
— revers	110; 220 rot/min			
Ø 92				
— gama încet	100; 180; 280; 465; 665 rot/min			
— gama repede	200; 360; 560; 930; 1 330 rot/min			
— revers	95; 190 rot/min			
Forța de ridicare hidraulică	10 000 daN			
Forța de apăsare hidraulică	7 500 daN			
Viteza de ridicare fus max.	4 m/min			
Viteza de coborîre fus max.	5,35 m/min			
Moment max. la capul rotativ	240/360 daNm			
Diametrul de trecere prin fus	76; 92 mm			
Cursa fusului capului rotativ	650 mm			
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°			
Capacitatea în cablu tobei carotierei introduc- tibile	500 daN			
Diam/lungime cablu carotieră introductibilă	6 mm/600 m			
Vitezele cablului	0,142... 1,47 m/s			
Grup de pompare acționat cu motor	Diesel; Diesel; electric; electric			
Debit teoretic	26—317 l/min			
Pompă de noroi	3 PN—20			
Presiunea maximă	63 daN/cm ²			
Numărul habelor de noroi	2			
Capacitatea unei habe	2 100 l			
Denisipator	Ø 70 mm			
Mast tip	construcție metalică rabatabilă			
Unghiul de foraj înclinat cu mast	0—45°			
Înălțimea sol-axa geamlacului	14,5 m; 14,5 m; 14,5 m;			
	6—14,5 m			
Lungimea pasului de manevră	12,5 m; 12,5 m; 12,5 m —			
Masa instalației de foraj cu toba carotieră intro- ductibilă	9 040 kg; 8 040 kg; 7 260 kg;			
	4 740 kg			

3.8.1.5. Instalația de foraj FG-1,2 M

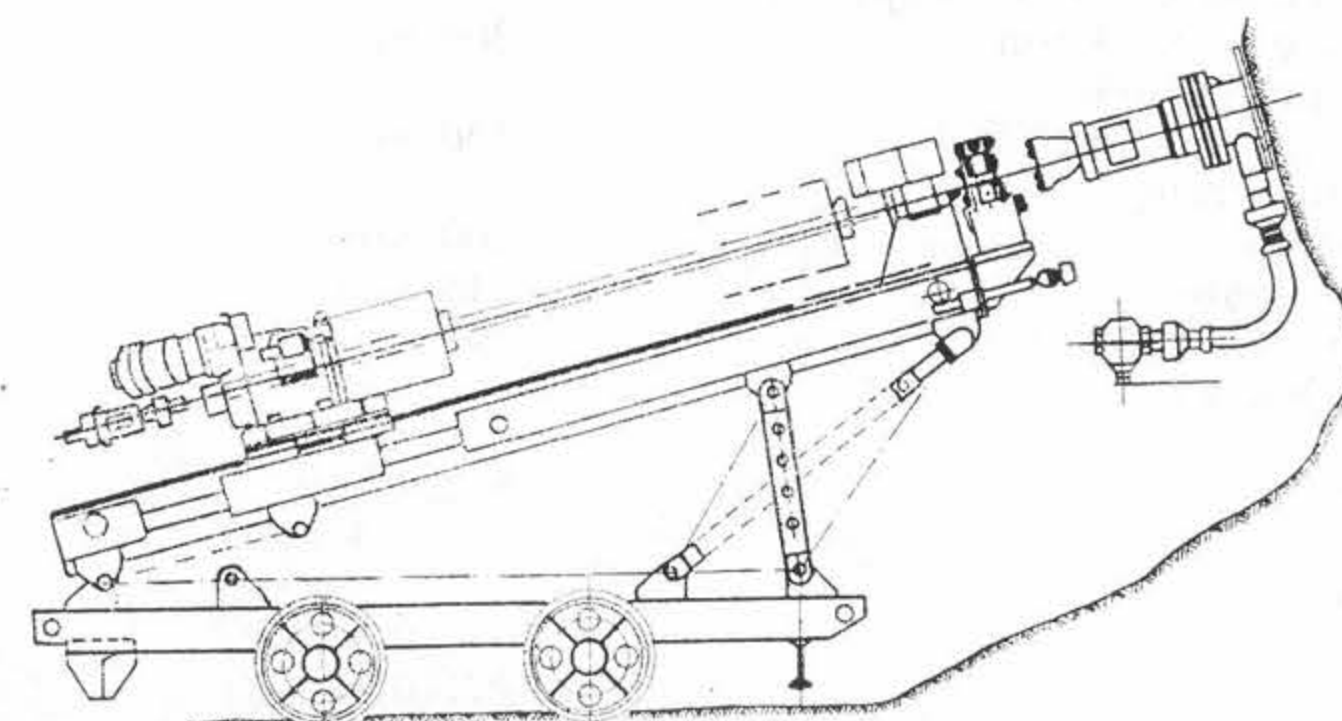
Instalația de foraj FG-1,2 M (fig. XI.118) este destinată cercetărilor geologice prin foraj și carotaj.

Se mai poate utiliza și pentru cercetări și amenajări hidrotehnice, consolidări de fundații, pozare de cabluri pe sub drumuri (terasamente) etc. Cu o dotare specială poate fi utilizată și la săparea de găuri de degazare și control.

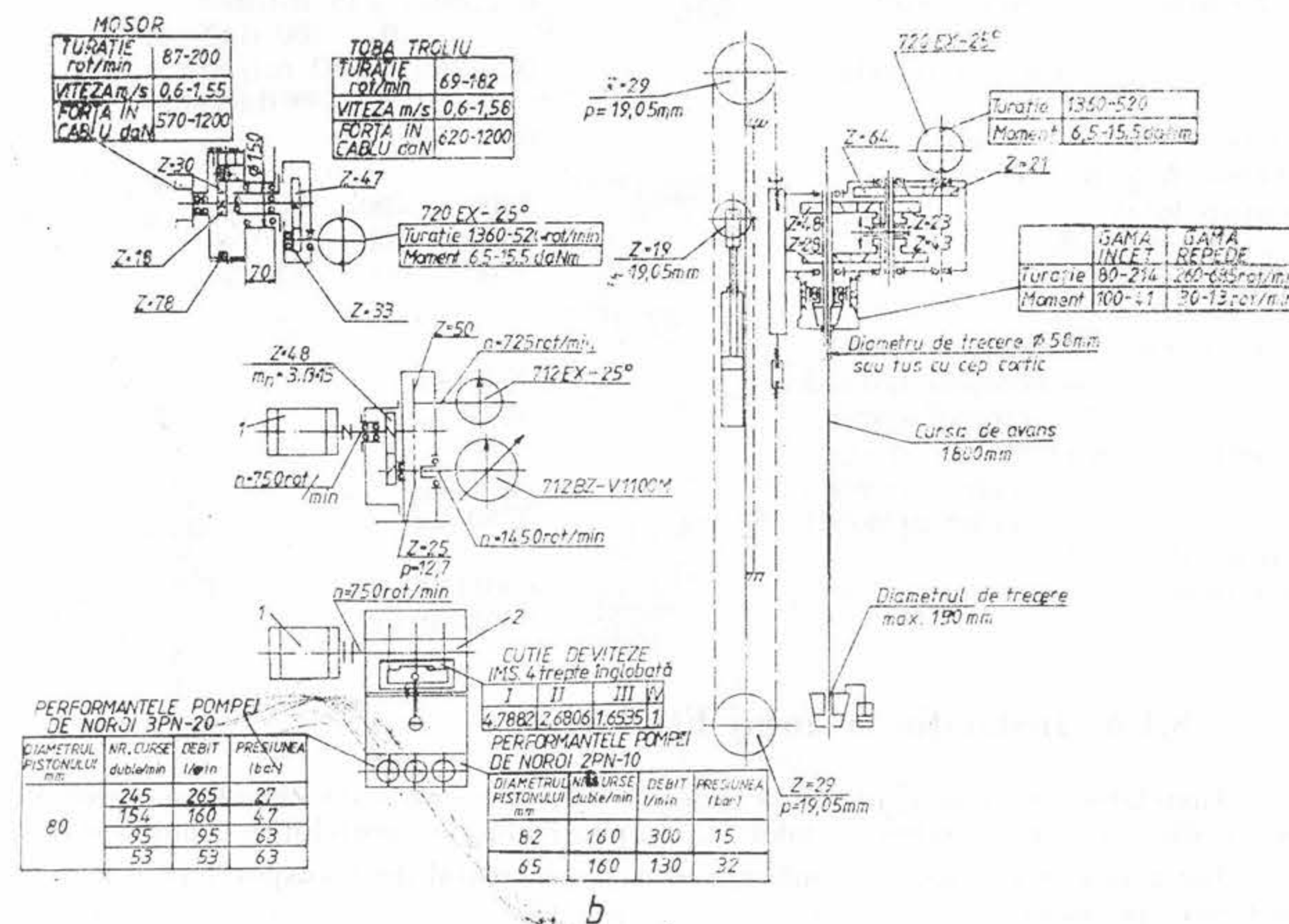
Instalația este cu transmisie hidrostatică. Se poate executa montată pe roți de vagonet de mină sau staționară pe sănii. Cuprinde: grupul de foraj, grupul de acționare, grupul motopompă și instalație de noroi.

Grupul de foraj are o sanie cărucior pe care se montează agregatul de foraj format dintr-o ramă (cadru de avans). Pe cadrul de avans se montează broasca și centratorul de prăjini. Pe un cărucior cu roți de mină (sau pe sanie) se montează motorul de acționare.

Grupul de pompare are un cărucior cu roți de mină pe care se montează motorul de acționare, pompa de noroi, furtunuri, robineti etc., putînd fi cu pompă 3PN-10 sau 2PN-10.



a



b

Fig. XI.118. Instalația de foraj FG-1,2 M:

a — vedere de ansamblu; b — schemă cinematică (1 — motor pneumatic sau electric; 2 — pompă de noroi).

Caracteristici tehnice

Adâncimea nominală de foraj:

— cu coroane cu diamante și prăjini AW

 $\varnothing 44,5$ mm; $q = 5,3$ kg/m

200 m

— cu sape și prăjini BW

 $\varnothing 54$ mm; $q = 6,85$ kg/m

150 m

Diametrul găurii forate:

— maxim (inițial)

200 mm

— final cu diamante

48 mm

— final cu sape (roci semitari)

93 mm

Capacitatea de manevră:

— extragere

0...2,4 t

— introducere

0...2,3 t

— apăsare

0...2,3 t

Viteza de manevră:

— extragere

0...0,44 m/s

— introducere

0...0,33 m/s

Cursa de manevră

1800 mm

Cap rotativ — turații/moment (diam. de trecere

 $\varnothing 58$ mm): — treapta încet

0...80...214 rot/min

0...100 daN·m

— treapta repede

0...260...685 rot/min

0...30 daN·m

0...360°

Unghiul de foraj posibil

Gabarite $L \times B \times H$:

— grup foraj

3100 × 400 × 925 m

— grup acționare

1800 × 600 × 900 m

— grup preparare

1100 × 600 × 680 m

Masa netă:

— acționare pneumatică:

— complet normal

2010 kg

— complet opțional

3820 kg

— acționare electrică:

— complet normal

1630 kg

— complet opțional

3780 kg

Cărucior de mină

ecartament/ampatament

630/1000 m

630/800 m

3.8.1.6. Instalația de foraj FG-0,63 D

Instalația de foraj FG-0,63 D (fig. XI.119) este destinată cercetărilor geologice pentru substanțe utile solide sau fluide, dar și pentru lucrări geotehnice, consolidări etc.

Instalația se execută în două variante, după modul de transport, pe roți de vagonet sau pe sanie.

Acționarea se face cu motoare pneumatice cu pistoane radiale sau electric.

Instalația este cu transmisie hidrostatică și cuprinde: agregatul de foraj, grupul de pompare noroi, instalația de prevenire a erupțiilor și instalația de noroi.

Agregatul de foraj este format din două unități montate pe o sanie: cadrul de avans și unitatea de putere.

Grupul de avans are prevăzute la extremități șuruburi cu plăci de reazem pe sol și se poate monta și independent de unitatea de putere.

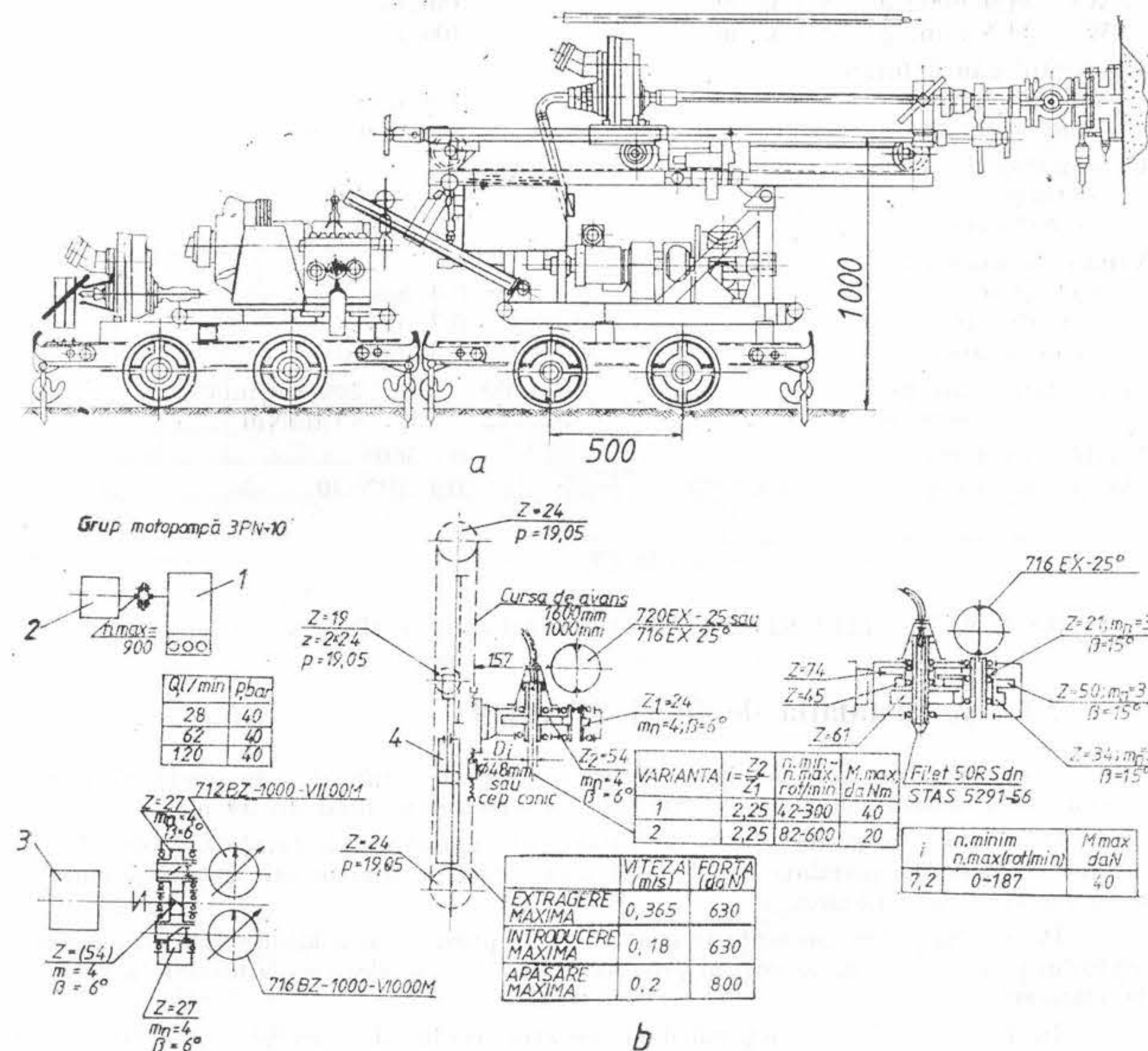


Fig. XI.119. Instalația de foraj FG-0,63 D:

a — vedere de ansamblu; b — schemă cinematică (1 — pompă de noroi 3 PN-10; 2 — motor pneumatic cu pistoane radiale; 3 — motor pneumatic sau electric; 4 — cilindru hidraulic cursa 800 mm, 500 mm).

Grupul de pompare este format din motorul de antrenare, cuplajul periflex și pompa tip 3PN-10, totul montat pe o sanie.

Instalația de prevenire a erupțiilor este formată în principal de un prevenitor rotativ și unul orizontal.

Caracteristici tehnice

	I (pe sanie)	II (pe vagonet)
Adâncimea de foraj cu prăjini		
EW — 34,9 mm; $q = 4,5$ kg/m	110 m	
AW — 44,5 mm; $q = 5,3$ kg/m	100 m	
Diametrul găurii forate:		
— maxim (inițial)	120 mm	
— minim (final)	48 mm	
Capacitatea de manevră:		
— extragere	0...0,5 t	
— introducere	0...0,45 t	
Viteza de manevră:		
— extragere	0,4 m/s	
— introducere	0,3 m/s	
Cursa de avans	1800 mm	
Cap rotativ: turație	0...600	0...200 rot/min
moment	0...12	0...40 daNm
Unghiul de foraj	0—360°	
Pompa de noroi	tip 3PN-10	

3.8.2. ALTE TIPURI DE INSTALAȚII DE FORAJ

3.8.2.1. Instalația de foraj SBA-500

Instalația este folosită pentru forarea rotativă a găurilor de sondă verticale și înclinate, cu adâncimea până la 500 m, cu diametrul final de 59 mm.

Prin gama largă de viteze de rotație ale garniturii de foraj (120 până la 1015 rot/min), cu această instalație se poate foră în condiții diferite atât cu aliaje dure cât și cu coroane cu diamante.

Pe de altă parte, prezența indicatorului de presiune și a kilowattmetrului permite controlul principalilor parametri ai procesului de foraj și alegerea vitezelor la operațiile de manevră.

În funcție de felul acționării și turația axului de rotație, instalația de foraj SBA-500 se livrează în patru variante:

- SBA-500 GE acționată cu motor electric;
- SBA-500 GD — identică din punct de vedere constructiv cu SBA-500 GE însă acționată cu motor Diesel;
- SBA-500 E cu axul de acționare prevăzut cu două mandrine hidraulice și instalație hidraulică care asigură prinderea automată a garniturii de prăjini, fără oprirea rotației sau deconectarea instalației de la motorul electric;

— SBA-500 D, analoagă cu instalația SBA-500 E, însă acționată cu motor Diesel (fig. XI.120).

Caracteristici tehnice:

Adâncimea de foraj cu prăjini de $\varnothing 50$ mm:	
— la diametrul final al găurii de sondă $\varnothing 93$ mm	300 m
— la diametrul final al găurii de sondă $\varnothing 59$ mm	500 m
Diametrul inițial de foraj	151 mm

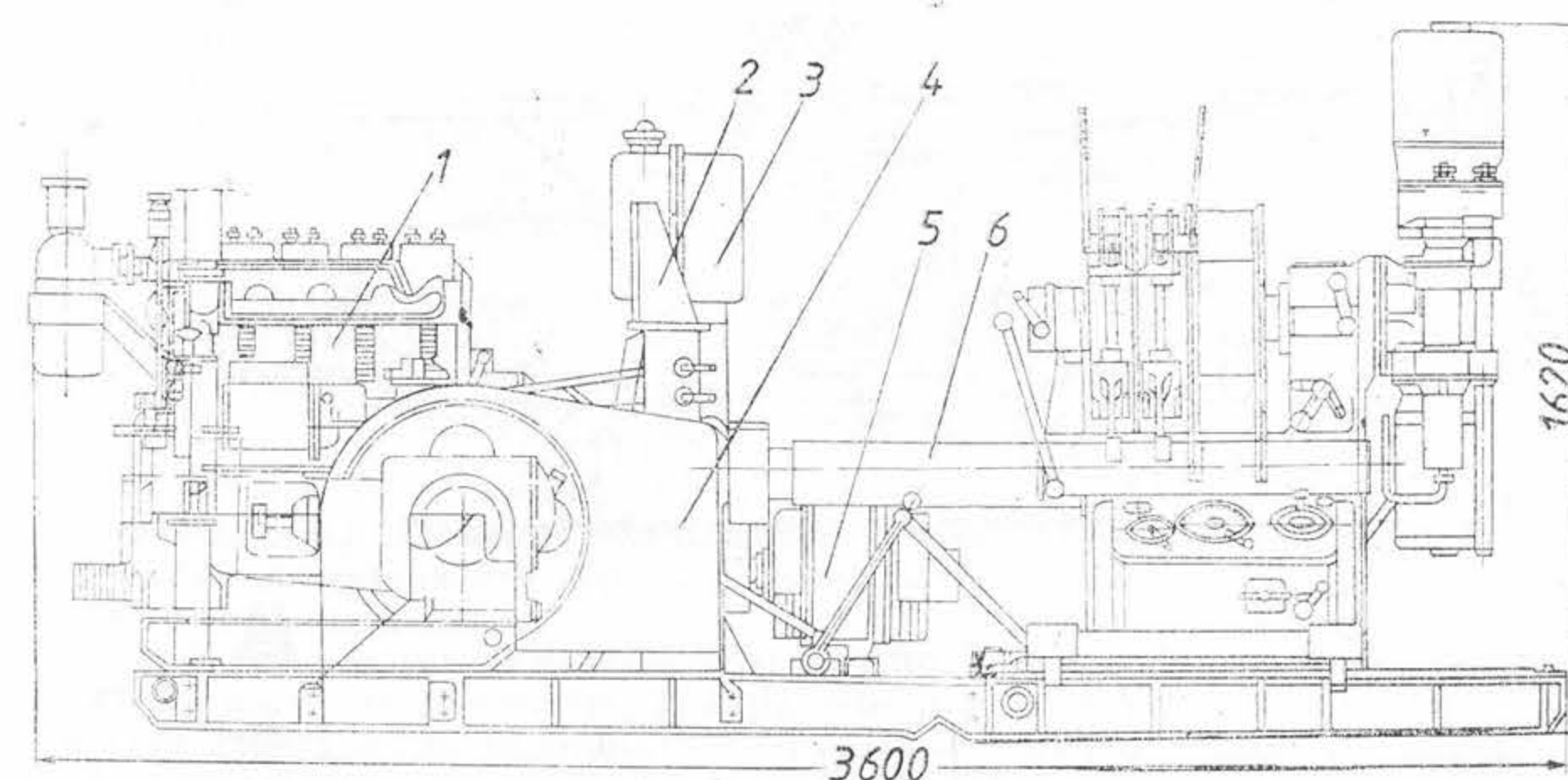


Fig. XI.120. Ansamblul instalației SBA-500 D:

1 — motor D37-E; 2 — tablou de comandă și control; 3 — rezervor de combustibil; 4 — apărătoarea pompei; 5 — generator EȘ-52; 6 — apărătoarea axului cardanic.

Diametrul de trecere al axului vertical	52 mm
Unghiul de foraj față de verticală	90°—45°
Diametrul prăjiniilor de foraj	30—42 mm
Avansarea garniturii de foraj	hidraulică
Cursa axului universal	400 mm
Turația axului	120; 195; 280; 430; 700; 1015 rot/min
Viteza maximă de coborîre a garniturii de prăjini	peste 1,1 m/min
Viteza maximă de ridicare a garniturii de prăjini	peste 0,83 m/min
Acționarea instalației	cu motor electric
Puterea	22 kW; 40 CP
Dimensiunile instalației acționată cu motor electric:	
— lungimea	1670 mm
— lățimea	1130 mm
— înălțimea	1620 mm
Masa	1350 kg

Instalația de foraj SBA-500 este prevăzută cu panou de comandă electrică cu aparatură electrică de pornire și de protecție.

3.8.2.2. Instalația de foraj URB-3AM

Instalația, destinată pentru forajul sondelor verticale cu masă rotari și circulație directă, este compusă din blocul de foraj, montat pe șasiul autocamionului MAZ cu subansamble auxiliare și utilaje anexă (fig. XI.121). Acționarea mecanismelor se realizează de la o sursă autonomă.

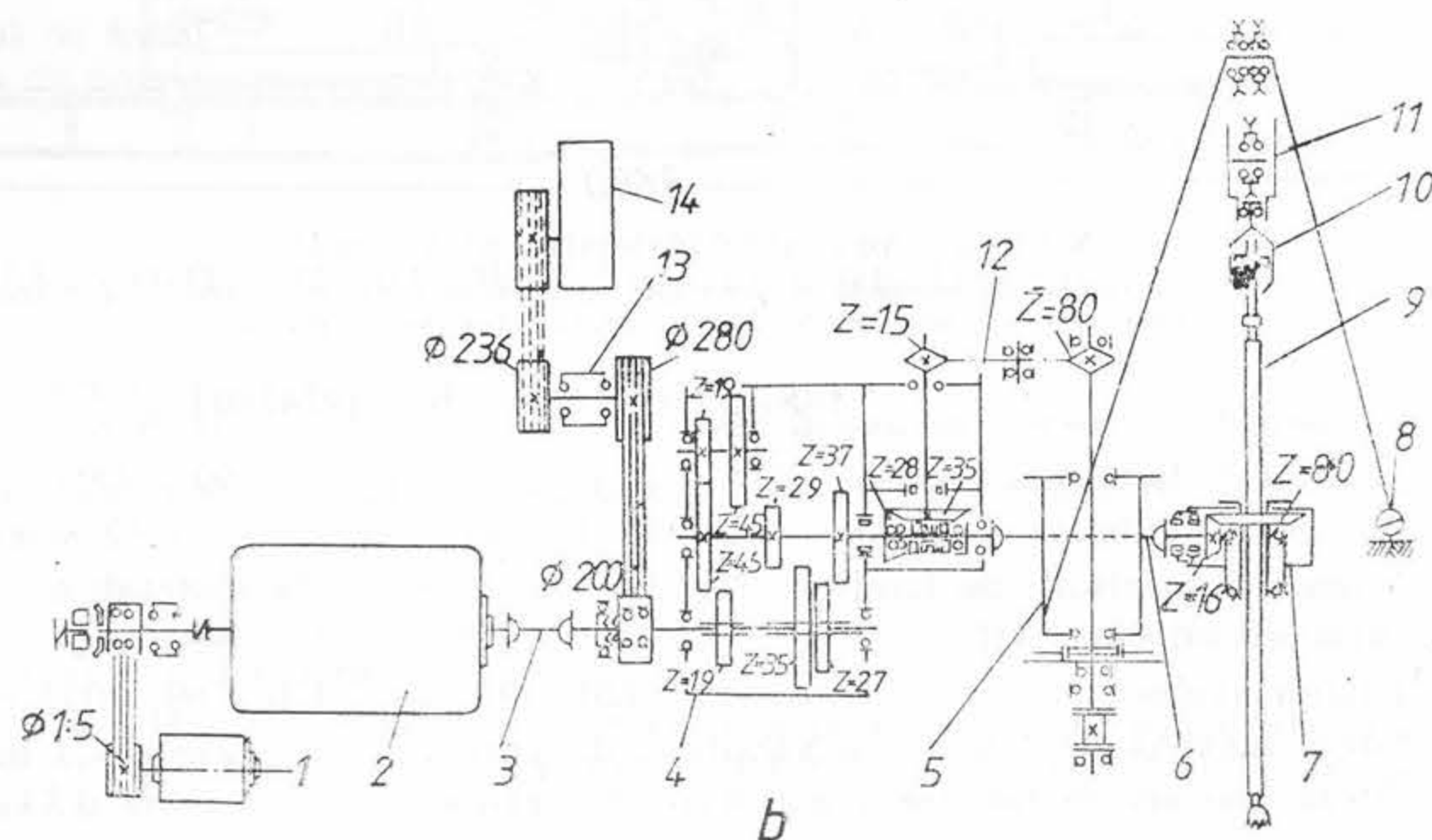
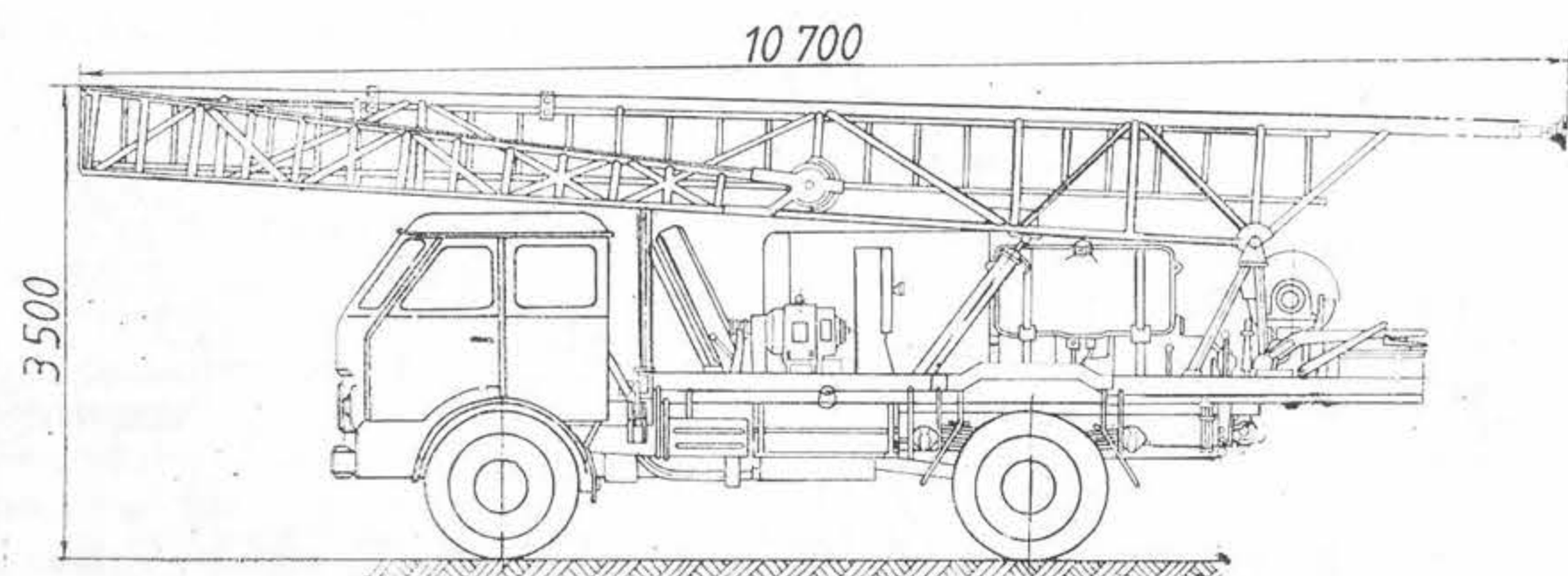


Fig. XI.121. Instalația de foraj autotransportabilă URB-3AM:

a — vedere de ansamblu; b — schemă cinematică: 1 — generator; 2 — motor de acționare; 3 — ax cardanic; 4 — cutie de transmisie; 5 — troliu; 6 — ax cardanic pentru acționarea mesei rotative; 7 — masă rotativă; 8 — indicator de masă; 9 — prăjină pătrată; 10 — vîrtej; 11 — bloc de ridicare; 12 — transmisie cu lanț; 13 — aparat de control; 14 — pompă de noroi.

Caracteristici tehnice:

Adîncimea de foraj (recomandată)

— cu prăjini Ø 60,3 mm	500 m
— cu prăjini Ø 73 mm	300 m

Diametrul de foraj (recomandat):

— de începere	243 mm
— final	76 mm

Modul de acționare motor D 54; 54 CP 1300 rot/min

Troliul funcțion. cu 2 mufe cu 2 discuri, acționat cu lanț, frînă cu o bandă și tamburi ajutători rabatabil cu front deschis

Mastul Înălțime 16 m

Acționarea transmisie cardanică

Orificiul de trecere 250 mm

Turația mesei: direct 110; 190; 314 rot/min
invers 46 rot/min

Pompa de noroi tip 11 GRT

Gabaritele blocului de foraj (poziție de transport):

— lungime	10 700 mm
— lățime	2 800 mm
— înălțime	3 500 mm

Construcție și funcționare. Pentru acționarea mecanismelor, puterea se transmite de la motorul 2 (fig. XI.121, b) prin intermediul unui ax cardanic 3, la cutia de transmisie 4, care servește pentru acționarea principalelor mecanisme: troliu, masă rotativă și pompă de noroi.

Troliul 5 este acționat cu ajutorul lanțului 12 și a steluzelor $Z = 15$ și $Z = 80$ de la axul cutiei de transmisie. Rotația este transmisă la masa rotativă 7 de la axul principal al cutiei de transmisie cu ajutorul mufei danturate și a axului cardanic 6; la pompa de noroi 14 rotația se transmite de la axul principal al cutiei de distribuție prin intermediul curelelor trapezoidale.

3.8.2.3. Instalația de foraj AVB-TM

Instalația de foraj mobilă AVB-TM (fig. XI.122) este destinată pentru forajul sondelor de explorare și exploatare pînă la adîncimea de 100 m, cu prăjini de 60,3 mm. Forajul se efectuează rotativ, cu spălare cu noroi sau apă.

Toate mecanismele sînt montate pe tractorul cu șenile pentru terenuri accidentate.

Instalația AVB-TM este compusă din: cutie de viteză, reductor, masă rotativă, troliu, pompă de noroi, cap hidraulic cu dispozitiv de fixare-culisare, mast, troliu manual, mecanisme de comandă ale instalației, transmisia acționării malaxorului de noroi.

Acționarea instalației se realizează de la motorul tractorului, printr-o cutie de viteze cu 4 trepte, fixată pe puntea din spatele acestuia. Cutia de viteze cu ajutorul transmisiei cu lanț comunică cu reductorul.

Reductorul este mecanismul de distribuție pentru acționarea mesei rotative, troliului și a pompei de noroi. Cuplarea acestor mecanisme se face cu ajutorul unor mufe de cuplare și a unui pinion mobil. La capătul reductorului este fixată masa rotativă.

Principalele caracteristici tehnice ale instalației:

Adîncimea de lucru (cu prăjini Ø 50)	100 m
Diametrul de foraj: inițial	112 mm
final	93 mm (cu care s-au atins în mod practic adîncimi pînă la 250 m)

Agregatul de foraj și pompa sint antrenate de către motorul tractorului (100 CP la o turație de 1050 rot/min)

Sarcina maximă în cîrlig

1250 daN

Numărul treptelor de viteză la masă:

$n_1 = 44$ rot/min; $n_2 = 91$ rot/min;
 $n_3 = 166$ rot/min; $n_4 = 210$ rot/min

Prăjină de antrenare hexagonală

$\varnothing 2 \frac{7}{8}$ in,

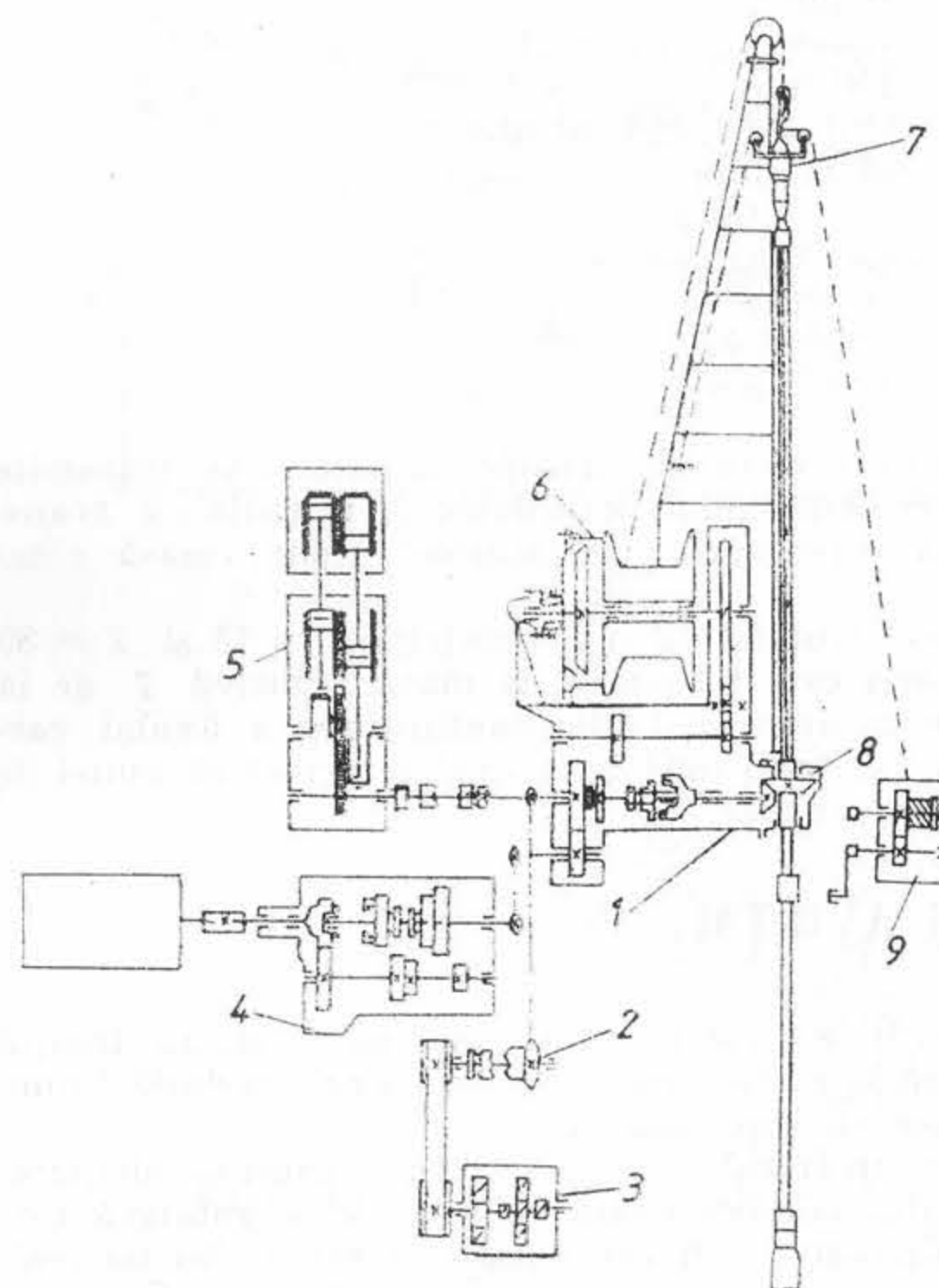


Fig. XI.122. Schema cinematică a instalației de foraj AVB-TM;

1 — reductor; 2 — dispozitiv de acționare a malaxorului de noroi; 3 — malaxor de noroi; 4 — cutie de viteze; 5 — pompă de noroi 250/50 A; 6 — trolu mecanic; 7 — cap hidraulic de presiune; 8 — masă rotativă; 9 — trolu manual.

Sistemul de avansare

mecanic

Înălțimea mastului

9 m

Diametrul cablului de foraj

13 mm

Pompa de noroi tip AVB-TM

200 l/min

cu o singură treaptă de viteză, debit

(0,0033 m³/s).

3.8.2.4. Instalația de foraj BSK

Sondezele din această grupă sint instalații ușoare cu care se execută foraje pînă la 150 m, destinate cercetării geologice sau studiilor geotehnice.

Din punct de vedere constructiv se caracterizează prin lipsa tobei și a stîlpului (mastului). Extragerea și introducerea garniturii de săpare în această formă constructivă se execută cu ajutorul cilindrilor hidraulici de avansare.

Viteza de extragere este de 0,15—0,17 m/s. Din grupa instalațiilor ușoare BSK face parte sondeza BSK-4, al cărui mecanism de avansare constă dintr-un singur cilindru hidraulic, sondeza BSK-2, sondeza BSK-3 și BSK-2M-1-100.

Caracteristicile tehnice ale instalației BSK-2M-1-100 sint:

Adîncimea de foraj	100 m
Diametrul maxim de începere	93 mm
Diametrul final cu diamante	36 mm
Diametrul prăjinilor de foraj	42 și 33,5 mm
Electromotor pentru acționare	7,5 kW
Numărul treptelor de viteză	2
Turațiile capului rotativ	300 și 600 rot/min
Debitul pompei	3,5 l/min
Masa agregatului	450 kg

3.8.2.5. Instalația de foraj ZIF-1200

Sub aspectul adîncimilor de foraj, sondeza ZIF-1200 face tranziția între forajul de adîncime medie și forajul de mare adîncime.

Prin construcția sa, sondeza ZIF-1200 prezintă aceleași avantaje în comparație cu alte sondeze, în ceea ce privește posibilitatea realizării unui foraj rapid, reglarea precisă a presiunii pe talpă, rapiditatea în execuția manevrelor etc.

Părțile componente ale instalației sint: granicul de foraj 2 cu motorul electric 3; pompa de noroi cu motorul electric al acesteia 4 (fig. XI.123).

Granicul de foraj este fixat pe același postament 1 cu motorul electric și așezat pe fundație de beton. Pompa de noroi cu electromotorul său se așază pe fundamente separat.

Granicul de foraj constă din: rama cu accesoriile respective, postamentul, cilindrii pentru deplasarea granicului, rezervorul de ulei, cutia de viteze, dispozitivul hidraulic de dirijare, trolul, frîna de coborîre, frîna de ridicare, universalul, mandrina inferioară, mandrina superioară, pompa hidraulică de ulei, conductele pentru ulei, indicatorul de greutate pe talpă, instalația electrică și pompa de ulei manuală.

Modul de funcționare a sondezei. Mișcarea de la electromotorul de acționare a sondezei ZIF-1200-A se transmite cutiei de viteze prin intermediul ambreiajului. Cu ajutorul cutiei de viteze mișcarea este transmisă mai departe la axul tobei, prin cele patru viteze.

Presiunea pe talpă se realizează prin sistemul hidraulic al agregatului. Din rezervorul de ulei, pompa refulează uleiul la dispozitivul de dirijare hidraulic și de aici trece la cilindrii dispozitivului de avansare.

Apăsarea necesară pe talpă se obține prin reglarea presiunii de ulei în conducta principală de refulare cu ajutorul dispozitivului de dirijare. Urmărirea apăsării pe talpă se face cu ajutorul indicatorului de greutate.

Punerea în funcțiune a sondezei ZIF-1200-A și asigurarea funcționării în timpul forajului se face prin intermediul manetelor acționate de sondor.

— echipamentul de prindere a prăjinii, amplasat la capătul frontal al dispozitivului de avans;

— panoul de comandă cu manetele de acționare.

Instalația este acționată de un motor electric sau un motor cu aer comprimat de 16 CP (11,7 kW).

Agregatul de foraj are masa de circa 300 kg.

3.8.2.8. Instalația de foraj Longyer 34

Este de construcție americană, fiind destinată forajului de explorare. Datorită gabaritului său redus, instalația poate fi folosită și în subteran.

Acționarea se face fie de la un motor termic de 11,5 CP (7,7 kW), fie de la un motor pneumatic de 12 CP. Pompa de noroi are un debit de maximum 150 l/min.

Instalația este prevăzută cu o tobă cu angrenaj planetar. Manevrarea carotierei introductibile se face cu o tobă solidarizată de granic.

3.9. INSTALAȚII DE SUPRAFAȚĂ ȘI ANEXE

Instalațiile de suprafață în foraj sînt destinate pentru protecția utilajului și a personalului, precum și pentru susținerea și manevrarea garniturii de foraj.

Pentru protecția utilajului și a personalului de intemperii atmosferice, se construiește o baracă ce adăpostește întreg agregatul de foraj, iar pentru susținerea și manevrarea garniturii se instalează deasupra găurii de sondă o construcție specifică numită *turlă*, în cazul sondelor de adîncime mare, *trepied* sau *mast* în cazul sondelor de adîncime mai mică.

În afară de turlă și baraca agregatului de foraj, în imediata apropiere a instalației se sapă *batalele pentru noroi* și se aranjează *sistemul de jgheaburi* pentru circulația noroiului.

Pentru alimentarea cu apă se instalează conductele respective și se amenajează drumul pentru transportul diferitelor materiale la sondă.

Construcția diferitelor tipuri de turlă și barăci depinde de natura lucrărilor de foraj și de sezonul în care se lucrează.

Dimensionarea turlei și a barăcii trebuie astfel făcută încît să asigure securitatea lucrărilor și instalarea regulamentară a utilajului de foraj.

Pentru adîncimi mici sînt tipizate instalații de foraj în formă de *trepied* cu înălțimea de 9 m, cu suprafața (*trepied* + baracă) de $4,5 \times 9$ m sau instalații de 12 m, 18 și 22 m înălțime cu turlă de tip dreptunghiular, cu suprafața variind între $4,5 \times 9$ m și 6×11 m.

La construcțiile destinate forajului pînă la 300 m adîncime se planifică săpături la gura sondei, pentru amenajarea terenului și săparea puțului, de 10 m³. La adîncimi de foraj de peste 300 m, volumul de săpături pentru instalarea construcțiilor de suprafață inclusiv săparea puțului se evaluează la 40 m³.

Turlă. Ca formă turlă este un triunchi de piramidă cu baza pătrată. Înălțimea turlei se determină prin lungimea completă a garniturii de foraj, prăjina grea și racordul pentru cablu și este construită din oțel. Partea de sus în care se încheie turlă și pe care se așază geamblacul se numește *coroană*.

Turlă metalică prezintă o serie de avantaje: este solidă, se poate transporta ușor, poate fi ușor și repede montată și demontată și nu prezintă pericol de incendiu.

Turlă se sprijină pe fundații ale căror mărimi și forme depind de natura terenului și de înălțimea turlei. În forajul de explorare fundațiile turlei se rezumă la un cadru de grinzi parțial îngropate în pămînt.

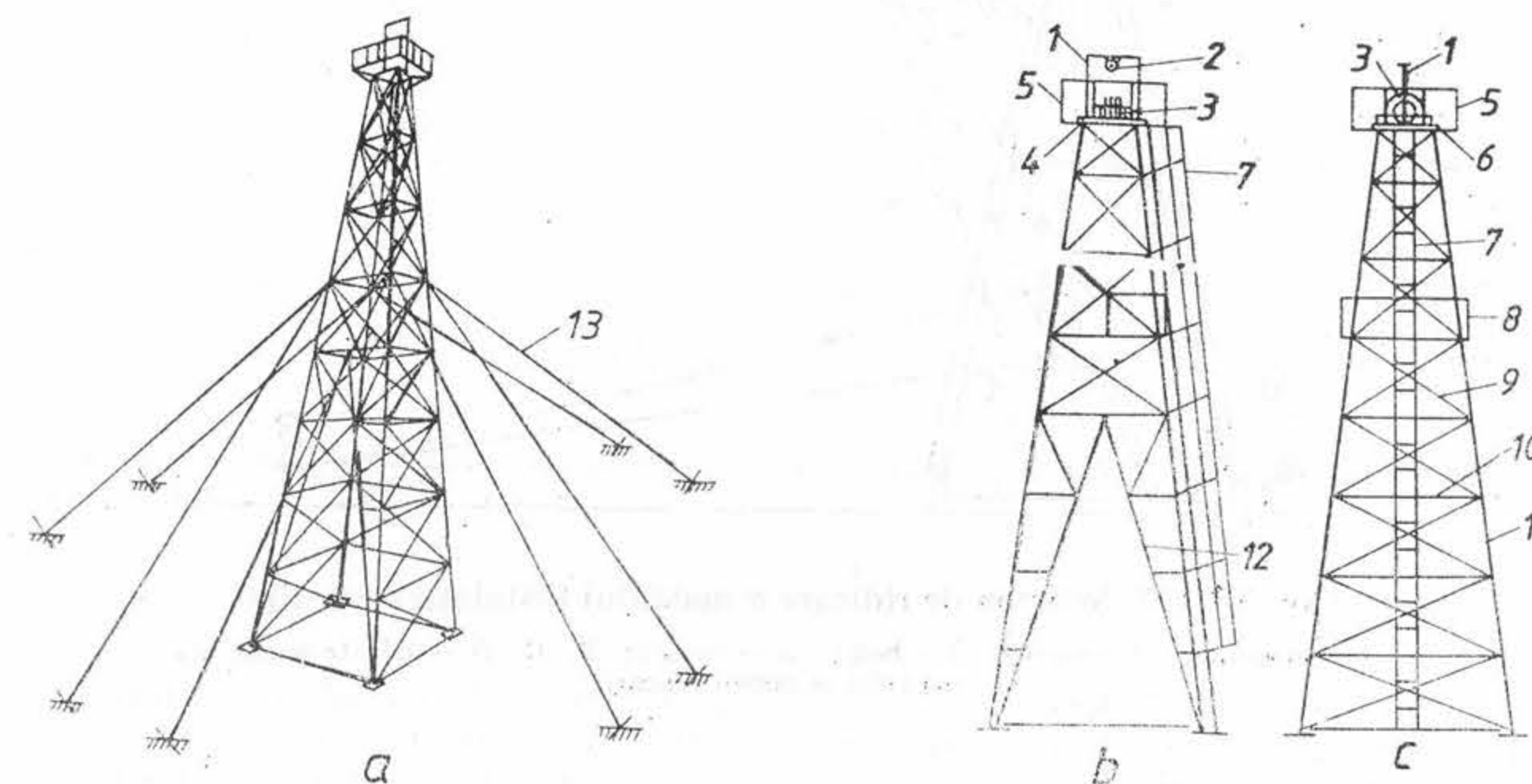


Fig. XI.126. Turlă pentru sondeze:

a - vedere de ansamblu; b - vedere din față; c - vedere laterală; 1 - capra geamblacului; 2 - scripete; 3 - geamblac; 4 - coroana turlei; 5 - balustradă; 6 - platforma geamblacului; 7 - scara turlei; 8 - platforma podului; 9 - diagonală; 10 - orizontala; 11 - picior; 12 - poarta turlei; 13 - ancore.

Părțile componente ale turlei sînt: capra geamblacului, grinziile coroanei, platforma geamblacului, podul și platforma podului, degetele pentru stivuirea pașilor, scările de acces și platformele de repaus (fig. XI.126).

Trepiedul. La forajul sondelor de mică adîncime, turlă este înlocuită de un *trepied*. Capetele de jos ale *trepiedului* se reazemă pe o ramă triunghiulară de 30/25 cm. Capetele de sus sînt reunite și fixate printr-un bulon.

Alegerea tipului de *trepiede* și fixarea înălțimii lor depinde de lungimea prăjinilor și de așezarea corectă a agregatului de foraj.

Mastul. Pentru forajul de mică adîncime, pînă la 400—500 m, *trepiedul* poate fi înlocuit prin *mast* (un stîlp cu unul sau două picioare) (fig. XI.127). El este legat de șasiul instalației sau al camionului și ancorat cu două cabluri.

Masturile prezintă avantajul că sînt ușoare și se manipulează repede, nu necesită fundații, însă folosirea lor este limitată de adîncimea la care se forează.

În prezent marea majoritate a instalațiilor de foraj moderne sînt dotate cu masturi. La unele tipuri de instalații autopurtate *mastul* se rotește pe o capră și se transportă odată cu instalația. Rabatarea se face mecanic de către agregatul de foraj.

În tabelul XI.47 sînt prezentate caracteristicile masturilor pentru sondeze, conform STAS 7999—83.

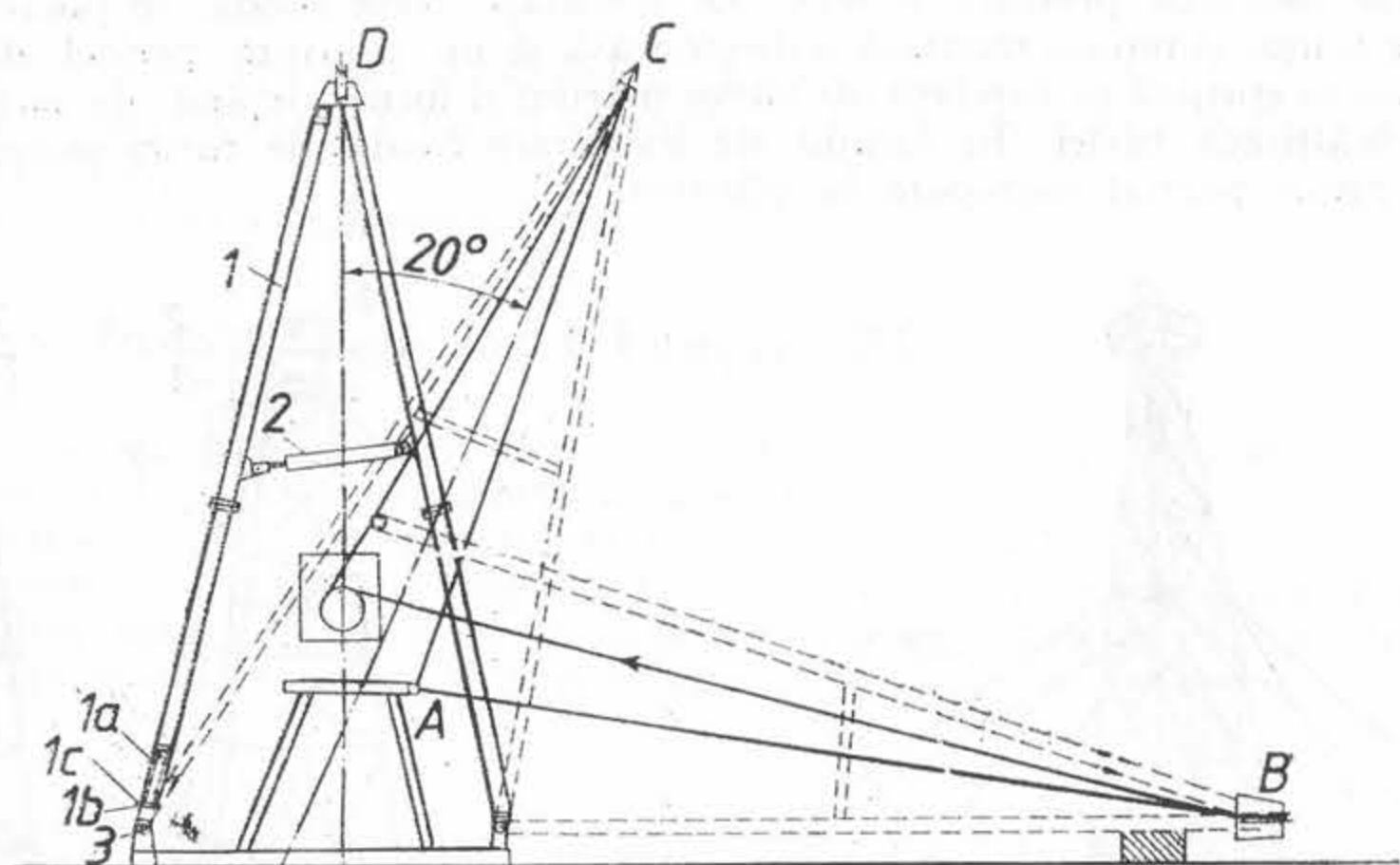


Fig. XI.127. Schema de ridicare a mastului instalației SG-150 :

1 — montant; 2 — suport; 3 — bolț; A — suport; B, C, D — diferite poziții ale mastului în cursul ridicării.

Tabelul XI.47

Caracteristicile masturilor pentru sondeze

Caracteristici principale	Mărimea mastului						
	M 1,2	M 3,2	M 5	M 8	M 12,5	M 20	M 32
Sarcina maximă (Q) _{max} , kN	12	32	50	80	125	200	320
Sarcina normală la cârlig (Q_n), kN	6,3	20	32	50	80	125	200
Înălțimea liberă a mastului (H), m	3,5	—	12	16,2	—	24	—
Distanța între montanții mastului, m	0,5	—	—	4,0	—	5,0	—
Lungimea maximă a pasului de prăjini, m	3,0	—	9,5	13,0	—	18,	—
Unghiul de înclinare maximă a mastului față de verticală	45°	45°	30°	20°	15°	15°	15°
Instalațiile pe care le echipează mastul	F 1,2	FG 3,2	FG 5	FG 8	FG 12	FG 20	FG 32

3.10. INDICATORI TEHNICO-ECONOMICI ÎN ACTIVITATEA DE FORAJ

Activitatea de foraj este urmărită printr-o serie de indicatori tehnico-economic care pot fi grupați în:

- indici de utilizare;
- indicii procesului tehnologic;
- indicii de consum — recuperajul de carote;
- productivitatea muncii și costurile de producție.

Indicii de utilizare. Stabilesc modul de folosire a instalațiilor de foraj existente în întreprindere. Ei pot fi: *indici de utilizare extensivă*, care reprezintă raportul dintre timpul efectiv, T_{ef} , de funcționare a utilajelor și timpul calendaristic, T_c :

$$i_{ue} = \frac{T_{ef}}{T_c}$$

și *indicii de utilizare intensivă*, care reprezintă raportul dintre metri realizați, M_r și metri planificați, M_p :

$$i_{ui} = \frac{M_r}{M_p}$$

Indicatorii principali intensivi, prin care se urmărește controlul și aprecierea activității de foraj, sînt *vitezele de foraj* care se exprimă prin raportul între metrajul realizat și timp în diferitele lui aspecte, și anume: viteza comercială v_c , viteza mecanică v_m , viteza tehnică v_t și viteza ciclică v_{ci} .

$$\text{Viteza comercială } v_c = \frac{M \cdot 720}{T_p + T_n} \text{ [m/trolu lună],}$$

unde: M reprezintă numărul de metri forajați; T_p — timpul productiv; T_n — timpul neproductiv.

$$\text{Viteza mecanică } v_m = \frac{M}{T_f} \text{ [m/h],}$$

unde T_f este timpul de fund (săpat, carotat).

$$\text{Viteza tehnică } v_t = \frac{M \cdot 720}{T_p} \text{ [m/trolu lună în funcție]}$$

$$\text{Viteza ciclică } v_{ci} = \frac{M}{L_{tr}} \text{ [m/trolu lună în patrimoniu]}$$

unde L_{tr} este trolu lună în șantier sau trust.

În formulă simplă, viteza comercială se poate exprima în funcție de viteza mecanică, cu ajutorul relației:

$$v_c = v_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 720$$

parametrii K_1, K_2, K_3 fiind:

$$K_1 = \frac{T_f}{T_0} = \frac{T_f}{T_f + T_m};$$

$$K_2 = \frac{T_0}{T_p} = \frac{T_f + T_m}{T_p};$$

$$K_3 = \frac{T_p}{T_0} = \frac{T_p}{T_p + T_n}$$

unde: T_m este timpul pentru manevrare; T_0 — timpul operativ; T_c — timpul comercial; T_p — timpul productiv; T_n — timpul neproductiv.

Timpul productiv T_p se compune din

$$T_p = T_f + T_m + T + T_t + T_a,$$

iar timpul neproductiv T_n se compune din:

$$T_n = T_r + T_{rec} + T_s + T_i,$$

unde: T este timpul pentru lărgiri; T_t — timpul pentru tubaj; T_a — timpul pentru operații auxiliare; T_r — timpul pentru reparații și ungeri; T_i — timpul pentru instrumentații; T_{rec} — timpul pentru resăpări, recarotări; T_s — timpul pentru suspendări și opriri.

Din relațiile de mai sus rezultă că viteza mecanică este indicatorul de bază care influențează celelalte viteze de foraj.

Indicii procesului tehnologic. Aceștia exprimă gradul de dezvoltare tehnică într-o anumită perioadă și se referă la:

- metrii foraj cu diferite feluri de energie (electrică, termică, pneumatică);
- metrii foraj cu diferite scule tăietoare (sape, carotiere);
- metrii foraj cu diferite metode (percutant, rotativ).

Indicii de consum. Se referă la cantitatea de materiale, energie etc., consumate pe unitatea de timp, pe unitatea de producție sau pe operația executată. Aceștia se mai pot exprima uneori prin producția realizată pe unitatea de material.

Recuperajul de carote. Prin recuperaj se înțelege raportul între metrii de carote recuperate M_r și metrii carotați M_s , și se exprimă în procente:

$$r = \frac{M_r}{M_s} [\%]$$

Procentul de recuperare variază după felul substanței minerale cercetate.

Pentru zonele noi se prevede un recuperaj de peste 80% pe întreaga adâncime a găurii de sondă. În zonele cunoscute se prevede un recuperaj cuprins între 70 și 80%, în formațiunile sterile și între 80 și 100% în zona mineralizată.

Productivitatea muncii. Este un indice de calitate și un factor important în componența costurilor. Productivitatea muncii, W , se exprimă prin raportul dintre metrii foraj M și numărul de muncitori lună, N :

$$W = \frac{M}{N}$$

sau

$$W = \frac{G \cdot v_c}{N} = \frac{v_c}{n},$$

unde: G este numărul de trolii, iar n — numărul de muncitori pe instalație.

De aici rezultă că pentru creșterea productivității muncii este necesară creșterea vitezei comerciale.

Costurile de producție. În forajul de explorare se utilizează următoarea structură a costurilor de producție:

A — cheltuieli directe, compuse din:

- materiale;
- manoperă;
- utilaj (amortismente, reparații, combustibil, energie etc.);
- transport și manipulare (utilaje și materiale);
- operații speciale (geofizice);

B — cheltuieli indirecte, formate din:

- cheltuieli generale (ale secției și întreprinderii);
- sarcini sociale.

$A + B$ = total cheltuieli de foraj.

Costurile, p , pentru metrul forat sînt date de relația:

$$p = \frac{C}{M}$$

în care: C reprezintă cheltuieli totale înregistrate, lei

M — metrajul realizat, m.

Pentru reducerea continuă a costurilor trebuie crescută productivitatea muncii pe seama creșterii vitezei de foraj, reduse consumurile specifice și cheltuielile generale ale secției și întreprinderii. Toate acestea se pot obține printr-o alegere și utilizare rațională a parcului de instalații de foraj.

3.11. DOCUMENTAREA GEOLOGICĂ A FORAJELOR DE EXPLORARE

La fel ca și în cazul lucrărilor miniere, documentarea forajelor de explorare reprezintă o operație foarte importantă, deoarece este scopul final pentru care se execută acest tip de lucrări.

Documentarea, și în această situație, cuprinde trei etape principale: ridicarea topografică, întocmirea coloanei lito-stratigrafice și probarea substanței minerale utile.

Ridicarea topografică constă în stabilirea coordonatelor locației (găurii de sondă în funcție de punctele geodezice din zonă și trecerea poziției pe hărți și planuri topografice.

Întocmirea coloanei lito-stratigrafice se face pe carnetul de teren sau chiar pe formulare tipărite (fig. XI.128). În acest scop se fac observații atente asupra carotei extrase, detritusului și chiar a fluidului de foraj.

ECHIPA

Profilul geologic

SCARA

Foraj cu carotaj continuu. Unghiul înclinării

Coordonatele reale ale sondei
x
y
z

Foraj începută la terminat la

Documentația începută la terminată la

Nivelul hidrostatic în sondă

Ø sondei [mm]					
Adîncimea cu Ø dat					
Ø coloanei de tubaj [mm]					
Adîncimea coloanei cu Ø dat					

Numărul forma- țiunilor	Recuperaj grafic	Adîncimea [m]	Profil geologic	Adîncimea de extracție [m]	Carota extrasă		Extrac- ția de carotă pe formația dată		Cota abs. a con- tractelor dintre ace	Descrierea rocilor	Grosimea vizibilă a strat. după carotă
					m	%	m	%			

Fig. XI.128. Formularul tip AG 40, Profilul geologic al

GEOLOGICĂ

al sondei nr.

1:

Adîncimea conform jurnalului de foraj

Adîncimea conform măsurătorilor de control

Măsurători de deviere a sondei

Desen nr.

Raport anual.....

	NUMELE	SEMNĂTURA	DATA
Şeful echipei			
Întocmit			
Desenat			
Verificat			

Unghiul dintre axa carotei și planul de stratificație	Grosimea reală a stratelor [m]	Numărul eșantioanelor	Luarea probelor		Rezultatele analizelor							Obs.	
			Numărul probei	Intervalul de luare a probelor									
					de la	pînă la	Au [g/t]	Ag [g/t]	Pb [%]	Zn [%]	Cu [%]		S [%]

sondei, pentru întocmirea coloanei lito-stratigrafice.

Observațiile cu caracter geologic trebuie să cuprindă o serie de date cu privire la:

- mineralogie;
- petrografie;
- elemente structurale;
- hidrogeologie;
- substanțe minerale utile etc.;
- locul (intervalul) de prelevare a probelor etc.

Toate detaliile care nu pot fi menționate în cadrul coloanei lito-stratigrafice se trec în carnetul de teren.

Având în vedere cantitatea redusă de material adusă la suprafață, trebuie acordată o foarte mare atenție culegerii datelor geologice, deoarece repetarea documentării este posibilă numai în cazul executării unui nou foraj.

La întocmirea documentației finale se ține seama de rubricile coloanelor tip (fig. XI.128) încercându-se să se treacă datele cele mai precise.

Probarea substanței minerale utile în carote și detritus precum și măsurătorile geofizice în gaura de sondă sunt operații foarte importante care se execută în cadrul explorării. Metodologia acestora este prezentată în secțiunile XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile, respectiv XIII. Carotajul geofizic.

4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DUPĂ NATURA SUBSTANȚEI MINERALE UTILE

După natura substanțelor minerale utile, explorarea poate fi împărțită în:

- explorarea zăcămintelor de minereuri (fier, mangan, zăcămintele de metale rare etc.);
- explorarea zăcămintelor de cărbune;
- explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere și de roci utile;
- explorarea zăcămintelor detritice.

4.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE MINEREURI

În explorarea zăcămintelor de minereuri se iau în considerare trei criterii: mărimea zăcămintului, morfologia zăcămintului și uniformitatea distribuției mineralizației.

De mărimea zăcămintului depinde amplasarea lucrărilor de explorare, complexitatea cercetărilor și raționalizarea lucrărilor pe bază de studii și încercări. În funcție de morfologia zăcămintului și concentrarea mineralizației se stabilește cuantumul de lucrări de explorare pe unitatea de rezerve, coeficientul de mineralizare și răspândirea lucrărilor de explorare. De uniformitatea distribuției componentului util și grosimii depinde desimea lucrărilor în vederea realizării unui anumit grad de cunoaștere.

În afara acestor criterii, în practica explorării trebuie să se țină seama de faptul că minereurile, în general, mai conțin, pe lângă metalele principale, și anumite elemente secundare, metale rare și disperse în cantități exploatabile.

Valorificarea complexă, respectiv evidențierea întregului potențial al zăcămintului cercetat, este o condiție de bază a explorării zăcămintelor de minereuri.

4.1.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FIER ȘI DE MANGAN

Explorarea și valorificarea minereurilor de fier și de mangan depind de forma sub care acestea apar în natură (oxizi, carbonați sau silicați), de mărimea conținutului, de tehnologia de extragere și de prezența elementelor dăunătoare. Minereurile ce apar sub formă de oxizi de fier (magnetit, hematit, oligist, goetit etc.), respectiv oxizi de mangan (piroluzit, manganomelan, manganit, vad) se valorifică mai ușor decât carbonații și silicații acestora.

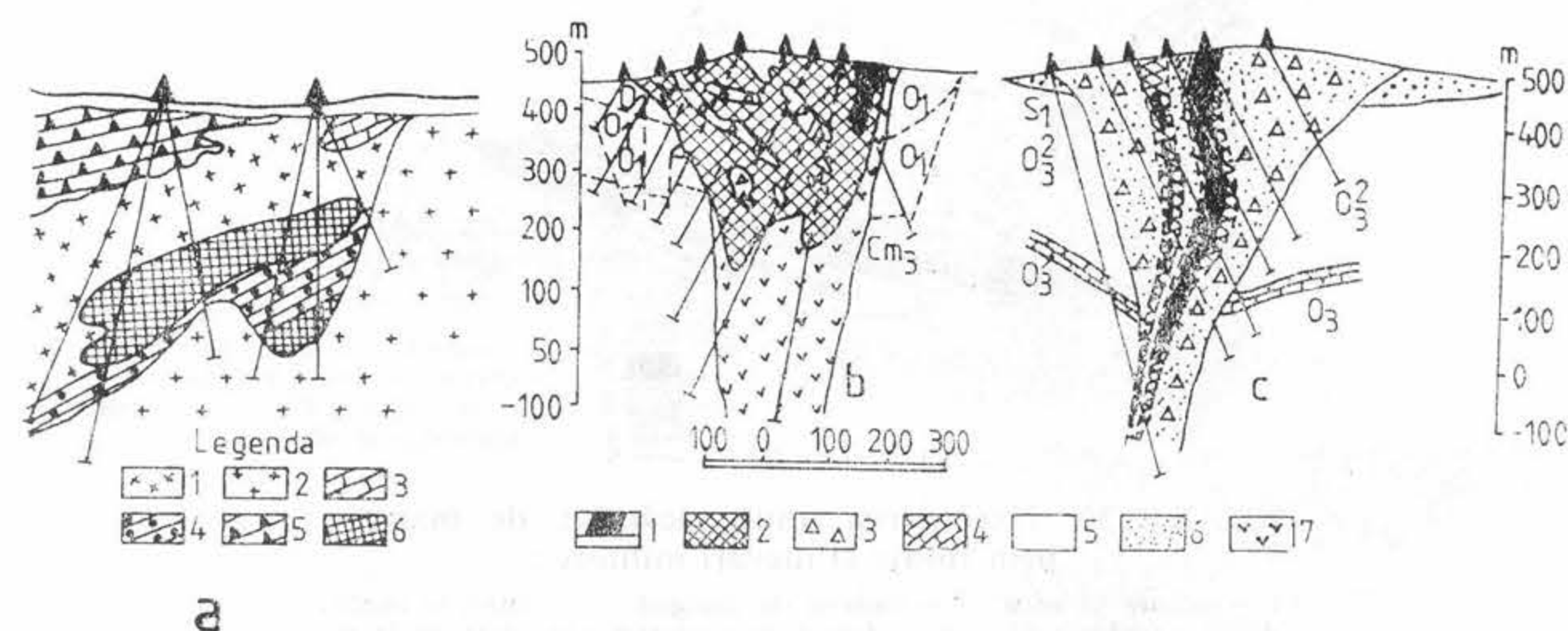


Fig. XI.129. Explorarea prin foraje a unor zăcămintele de minereu de fier:

a — zăcămint cu formă neregulată (1 — granitoid; 2 — granit; 3 — calcar; 4 — calcar grezos; 5 — dolomit; 6 — minereu); b — zăcămint sub formă de stock-work; c — zăcămint de formă tabulară (1 — minereu bogat; 2 — minereu obișnuit; 3 — skarn; 4 — orizont dolomitic; 5 — roci sedimentare; 6 — arcoze; 7 — dacite).

Valoarea minereurilor scade foarte mult când minereul conține elemente dăunătoare, ca: As, S, P, Sb, Cu, Zn, Ba etc., în cantități mari.

Explorarea zăcămintelor de fier. Zăcămintele de fier se prezintă în natură sub forme și mineralizații foarte diferite. Ele apar fie sub formă de corpuri lenticulare în calcare, în roci metamorfice, în skarne, fie sub formă stratiformă în anumite etaje geologice, fie sub formă filoniană sau în aluviuni.

Din punctul de vedere al explorării, zăcămintele de fier se pot grupa în două: *zăcămintele mari*, cu forme și structuri mai puțin complicate, cum sunt zăcămintele lenticulare și cele stratiforme, cu conținuturi de fier cuprinse între 45 și 68% și SiO_2 între 7 și 20% și *zăcămintele mici și mijlocii*, cu forme și structuri mai complicate, cu variații mari de conținut și în parageneză cu alte minerale, sulfuri etc., cum sunt zăcămintele de substituție metasomatică, hidrotermale, de skarne sau segregatie. La acestea apar, de regulă, zone bogate în fier, zone de amestec și zone de alte minerale utile exploatabile.

Zăcămintele din prima grupă se explorează prin foraje (fig. XI.129), putându-se determina rezerve cu precizie de peste 90% când corpurile de minereu sunt foarte extinse și nu sunt afectate de mișcări tectonice, iar în zonele tectonizate nu pot fi determinate cu precizie mai mari de 80%. Explorarea de detaliu se execută cu lucrări miniere și foraje subterane pentru părțile inferioare situate la adâncime mare de suprafață. În general,

zăcămintele stratiforme de tip oolitic, de carbonați și hidroxizi de fier, care nu prezintă variații de conținut, se explorează prin foraje, cu o precizie de peste 90%.

Pentru zăcămintele din grupa a doua este necesară explorarea amănunțită, în care ponderea cea mai mare o au lucrările miniere de explorare.

Explorarea zăcămintelor de mangan se face în etapa preliminară prin foraje, iar în etapa de detaliu prin lucrări miniere însoțite de foraje subterane de mică adâncime (fig. XI.130). Zăcămintele care apar la suprafață și care urmează să fie exploatate în

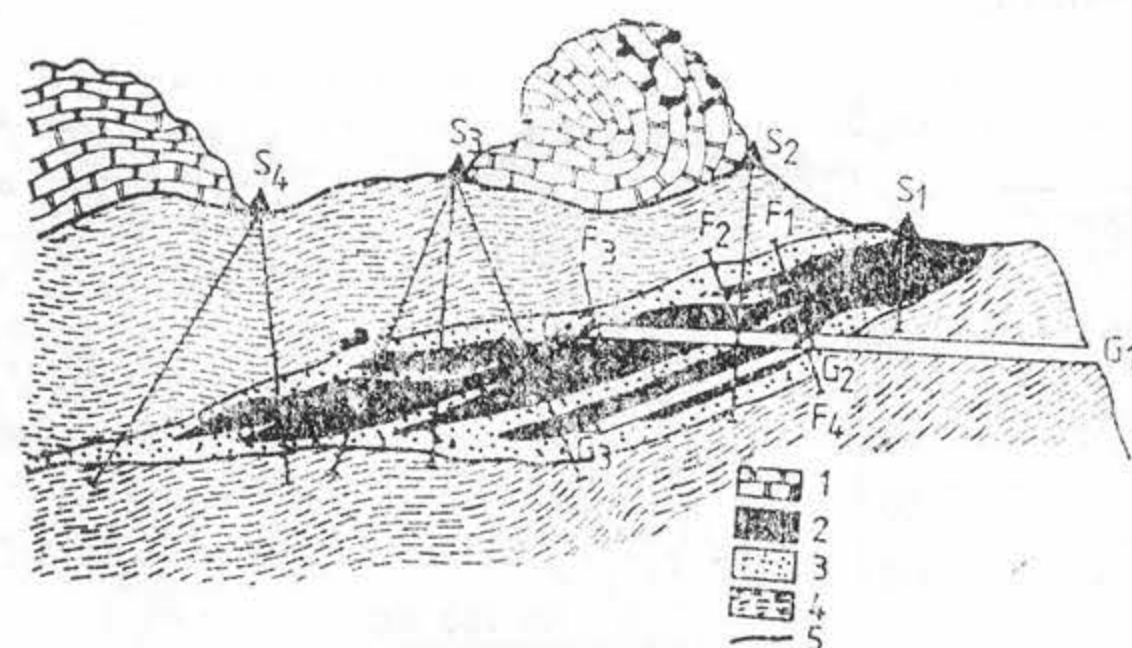


Fig. XI.130. Explorarea unui zăcămint de mangan prin foraje și lucrări miniere:

1 — calcare jurasice; 2 — minereu de mangan; 3 — cuarțite negre; 4 — micașturi; S1...S4 — foraje de explorare executate de la suprafață; G1 — galerie transversală de explorare; G2...G4 — galerii direcționale de explorare; G2—G3 — plan înclinat; F1...F4 — foraje de explorare executate din subteran.

carieră se explorează printr-o rețea de foraje de mică adâncime și cu gabarite mici, 20—50 m.

La explorarea zăcămintelor de mangan trebuie să se țină seama de o serie de particularități ale acestor zăcămint, atât în ceea ce privește rețeaua de explorare, tipul de lucrări cât și metoda de calcul a rezervelor. În toate minereurile, manganul, este însoțit de fier în diferite proporții.

În general minereurile exploatabile de mangan ca și cele de fier apar sub formă de oxizi (piroluzit, manganit, vad etc.) carbonați (rodocrozit etc.) și mai rar silicați (rodonit etc.).

Principalele zăcămint de minereu de mangan se găsesc sub formă de strate în roci sedimentare și vulcanogene sau de lentile în roci metamorfice.

4.1.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE PLUMB ȘI ZINC

Minereul celor două metale se mai numește și *minereu complex* deoarece, de regulă, minereul de Pb are și un conținut de Zn și invers.

Minereurile obișnuite pentru extragerea plumbului și zincului îl constituie sulfurile de tipul galenă, blendă și uneori cu un exces de pirită, având ca minerale secundare: calcopirită, sulfosăruri, stibină, minerale de argint etc.

Zăcămintele de Pb și Zn apar sub formă filoniană, de strate sau de lentile.

Zăcămintele *stratiforme extinse* sau *de impregnații* în lentile se explorează până la adâncimi de 100—300 m prin foraje, iar pentru zone mai adânci explorarea preliminară se face prin foraje și lucrări miniere. Explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere și foraje subterane scurte executate din acestea.

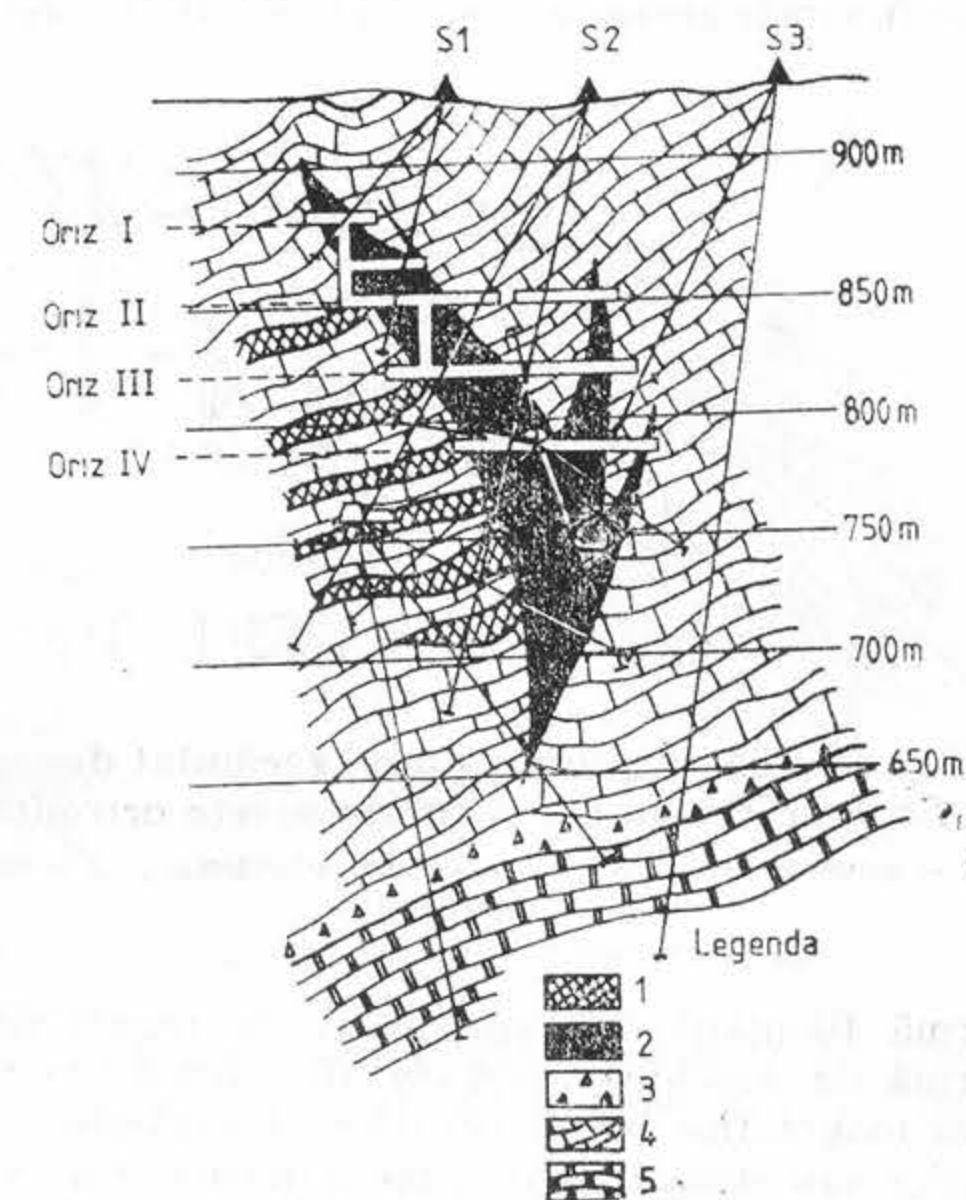


Fig. XI.131. Explorarea unui zăcămint de plumb și zinc prin lucrări miniere și prin foraje scurte și medii:

1 — minereu de zinc; 2 — minereu de plumb; 3 — breccie tectonică; 4 — calcare jurasice; 5 — calcare devoniene; S1...S3 — foraje de explorare executate de la suprafață.

Zăcămintele *filonice* de Pb și Zn se cercetează, de asemenea, prin foraje în faza preliminară de explorare, atunci când se găsesc sub nivelul de bază al regiunii, iar explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere și, de la caz la caz, se completează cu foraje scurte.

Când zăcămintele apar sub formă de *corpuri lenticulare* (fig. XI.131), *stokuri* cuprinse în calcare sau sisturi cristaline sau sub formă de breccii cimentate, ori *impregnații* în zonele de skarn, se recomandă explorarea prin lucrări miniere în faza preliminară și lucrări miniere completate cu foraje scurte în faza de detaliu.

În general, zăcămintele de Pb și Zn, din cauza formei lor mai complicate și a variației conținuturilor metalice, necesită un volum mare de lucrări de explorare, ceea ce mărește costul explorării pe tona de minereu prin comparație cu explorarea zăcămintelor de fier și de mangan.

La determinarea rezervelor, în afară de metalele principale trebuie determinate și conținuturile de metale secundare, metale nobile și metale rare, pentru o evaluare corectă a potențialului zăcămintului.

4.1.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CUPRU

Zăcămintele cuprifere apar sub diferite forme în natură, principalele minereuri fiind constituite din sulfuri în care predomină calcopirita.

Se consideră exploatabile minereurile de cupru până la conținuturi sub 1%, în care se include și cuprul echivalent pentru alte metale extractibile (S, Au, Ag, Pb, Zn, As, Sb, Mo etc.). În mod excepțional, zăcămintele foarte mari se consideră exploatabile la conținuturi până la 0,2% Cu.

Din punctul de vedere al formei se disting zăcăminte cuprifere stratiforme care apar în strate grezoase sau conglomeratice, precum și în șisturi bituminoase, zăcămintele de

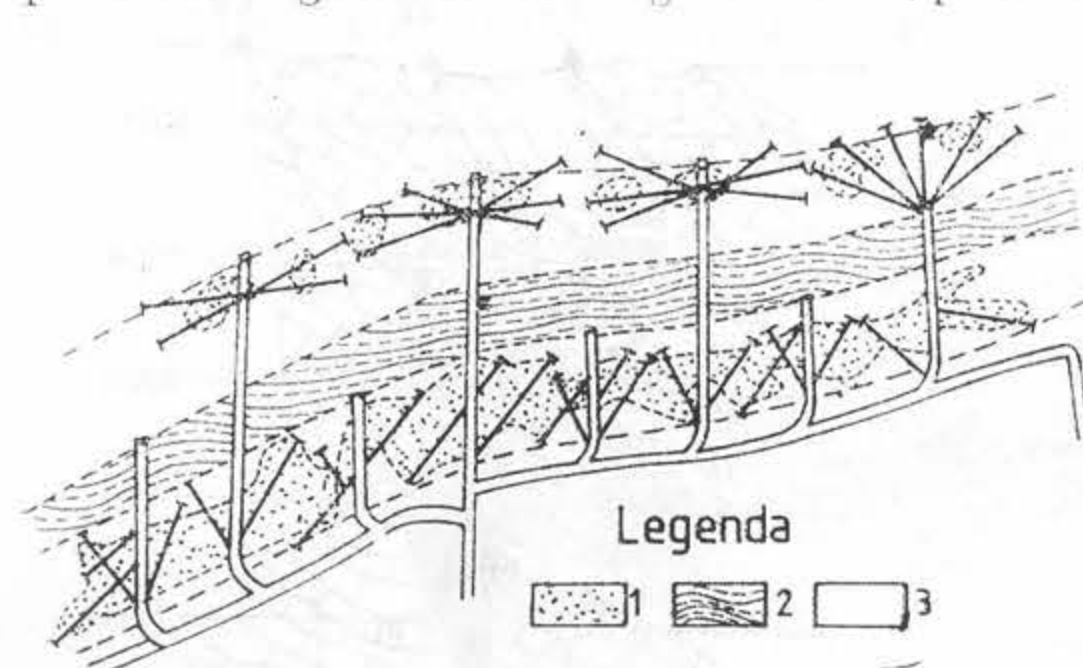


Fig. XI.132. Explorarea unui zăcămint de cupru prin lucrări miniere și foraje scurte orizontale: 1 — minereu cuprifer; 2 — șisturi cloritoase; 3 — șisturi cuarțoase.

formă filoniană sub care apar de regulă mineralizațiile hidrotermale, zăcămintele sub formă de stockuri formate din rețele de fisuri localizate în roci carbonatice sau în roci magmatice metamorfozate și zăcămintele lenticulare legate de roci bazice și ultrabazice sau situate în roci metamorfe. Cu excepția zăcămintelor stratiforme intrastratificate, cu formă puțin variabilă, care se pot explora prin foraje, celelalte tipuri de zăcămintele cuprifere se explorează în toate fazele prin lucrări miniere, însoțite în anumite cazuri de foraje scurte subterane, orizontale sau înclinate sub formă de evantai (fig. XI.132 și XI. 133). Zăcămintele porfirice de cupru se explorează numai prin foraje sau combinat (foraje și lucrări miniere).

Costul explorării este ridicat, datorită volumului mare de lucrări miniere necesare explorării în detaliu a acestor tipuri de zăcămintele.

4.1.4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE AUR ȘI ARGINT

În zăcămintele aurifere, aurul este asociat cu argintul în proporții caracteristice. Aurul apare în majoritatea cazurilor zăcămintelor exploatabile sub formă metalică, necombinat, și numai în cantități foarte mici combinat sub formă de telururi.

Caracteristic zăcămintelor aurifere este variația mare a conținutului de aur. În cuprinsul zăcămintului apar concentrații formând puncte de îmbogățire, în special în zonele în care apar complicații de formă (intersecții de filoane, schimbări de înclinare, distorsiuni, boltiri etc.). Când apare împreună cu alte sulfuri, zonele de concentrații în aur se găsesc la periferia acestora. În numeroase cazuri mineralizațiile aurifere apar în zona superioară a mineralizațiilor de Pb și Zn, în zona periferică a minereului cuprifer sau în zonele de trecere la alte mineralizații.

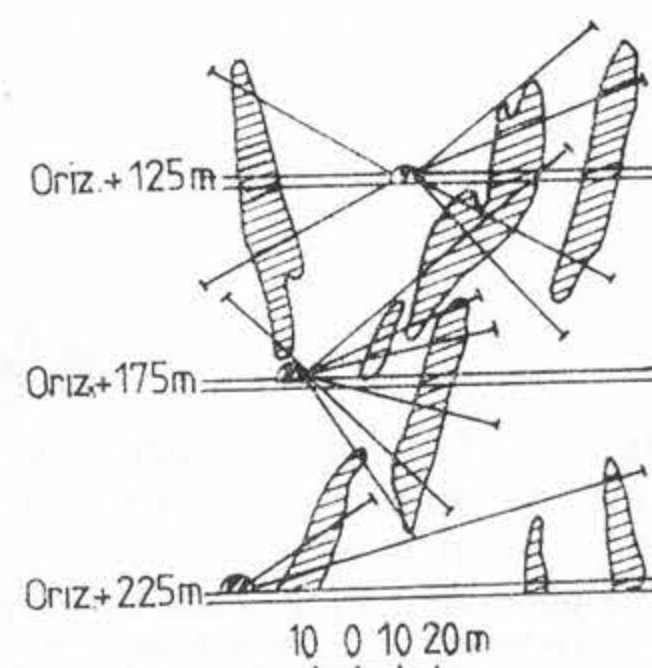


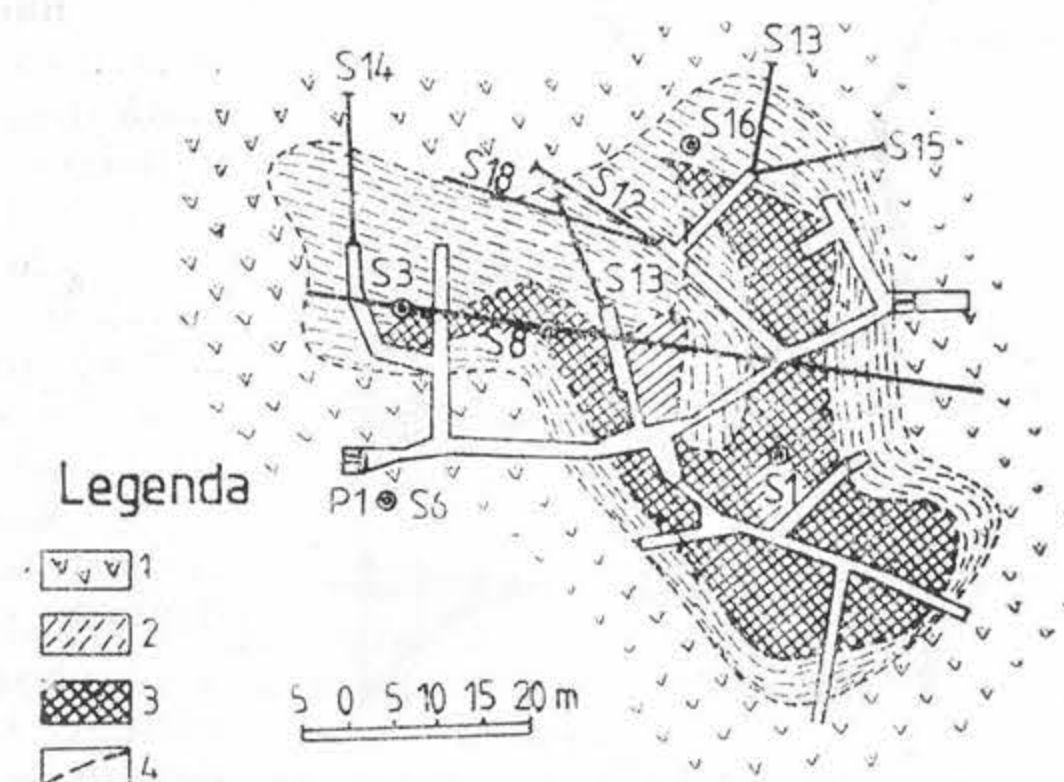
Fig. XI.133. Explorarea unui zăcămint de cupru prin lucrări miniere și foraje în evantai la orizonturi diferite.

Argintul apare în zăcămintele aurifere combinat în sulfosăruri sau legat de galenă.

Zăcămintele primare de aur și argint apar în roci magmatice, sub formă de filoane, stockuri etc., fie în rocile învecinate transformate în colectori, fie sub formă de corpuri riolitice brecifiate, fisurate și cimentate cu cuarț aurifer. Unele din aceste corpuri au aspect tufogen, iar altele au caracter tufitic ori ignibritic sau chiar de riolite regenerare.

Fig. XI.134. Explorarea unui zăcămint aurifer prin lucrări miniere și foraje:

1 — porfire; 2 — șisturi sericitoase; 3 — barietă; 4 — conturul minereului aurifer; S1, S3, S8, S16 — foraje verticale executate de la suprafață; S13...S15, foraje executate din subteran.



Mineralizații aurifere mai pot apărea în cuarțite, gnaise cuarțitice sau în gresii și conglomerate metamorfozate hidrotermale.

În cele mai multe cazuri aurul și argintul apar sub formă de filoane de grosimi variabile, cu structură complexă, sau sub formă de rețele de filonașe grupate destul de compact în lentile mari.

Explorarea, ținând seama de variația mare de conținut și de posibilitatea concentrării mineralizațiilor în zone sau puncte bogate în aur, se face prin lucrări miniere completate uneori, în funcție de forma corpului de substanță minerală utilă, de foraje (fig. XI.134).

Se recomandă să nu se treacă la explorarea de detaliu până nu se cunosc în suficientă măsură condițiile de explotabilitate și până nu se verifică prin faza preliminară ipotezele asupra potențialului zăcămintului. Pentru zăcămintele mici și foarte mici bogate în aur liber, este indicat să se facă explorarea concomitent cu exploatarea.

În general, în exploatare trebuie să se țină seama de distribuția capricioasă a aurului și de faptul că o explorare de detaliu necesită volume foarte mari de lucrări și cheltuieli insuficient justificate.

4.1.5. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE PIRITĂ ȘI DE ALUMINIU

Minereul de pirită se prezintă fie compact, atunci când cristalele de pirită sînt concreșcute între ele, fie sub formă de impregnație, când cristalele sînt împrăștiate în roca colectoare.

Zăcămintele de pirită apar sub formă de strate în depozite sedimentare, sub formă de corpuri lenticulare mari interstratificate în roci metamorfe, sau situate în

roci vulcanice etc., sub formă de corpuri de impregnație în alte roci, de origine hidrotermală sau de substituție metasomatică sau sub formă compactă în sisteme de filoane.

Majoritatea zăcămintelor de pirită au forme complicate și de aceea pentru explorare sînt necesare rețele dese de puncte de interceptare. Explorarea preliminară se face prin lucrări miniere.

Bauxita reprezintă minereul caracteristic pentru extragerea aluminiului. Ea este constituită dintr-un amestec de oxizi hidratați de aluminiu — diaspor, bohemit, hidragilit — cu oxizi de fier, oxizi de titan, clorite, argile etc.

Zăcămintele de bauxită apar fie sub formă de corpuri cu contururi complexe, rezultînd din umplerea unor carsturi în calcare, fie sub formă lenticulară, dispuse interstratificat în sedimente subacvatice (fig. XI.135).

Mărimea corpurilor este diferită — de la cuiburi mici de ordinul sutelor de tone pînă la depozite de milioane de tone.

Explorarea se face prin foraje și lucrări miniere. Forajele se folosesc în cazurile în care depozitele acoperitoare au grosimi mari, cercetarea efectuîndu-se pe aliniamente așezate la distanțe corespunzătoare condițiilor locale de zăcămint.

4.1.6. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE METALE RARE

În categoria metalelor rare sînt cuprinse metale mai puțin comune. Ele pot fi împărțite în trei grupe: 1) metale necesare industriei curente (mercur, stibiu și arsen; crom; nichel și cobalt, staniu și wolfram; molibden și bismut; vanadiu, titan); 2) metale cu utilizări speciale (berliu, litiu, tantal, niobiu, zircon, hafniu, cadmiu, germaniu, indiu, galiu, talu, seleniu, telur și T.R); 3) metale radioactive (uraniu și thoriu) și metale din grupa platinei (platin, osmiu, iridiu și paladiu).

4.1.6.1. Explorarea zăcămintelor de metale necesare industriei curente

Explorarea zăcămintelor de mercur, stibiu și de arsen. Zăcămintele acestor metale prezintă aceleași caracteristici și de aceea și metodele de explorare sînt identice.

Minereurile obișnuite pentru mercur sînt cele cu cinabru, considerate exploatabile la un conținut mediu ce poate coborî sub 0,1%; pentru stibiu minereurile cu stibină cu conținut mediu minim de circa 2% Sb, iar pentru arsen, minereul cu sulfuri (realgar, auripigment, mispichel) cu un conținut mediu minim de circa 4% As.

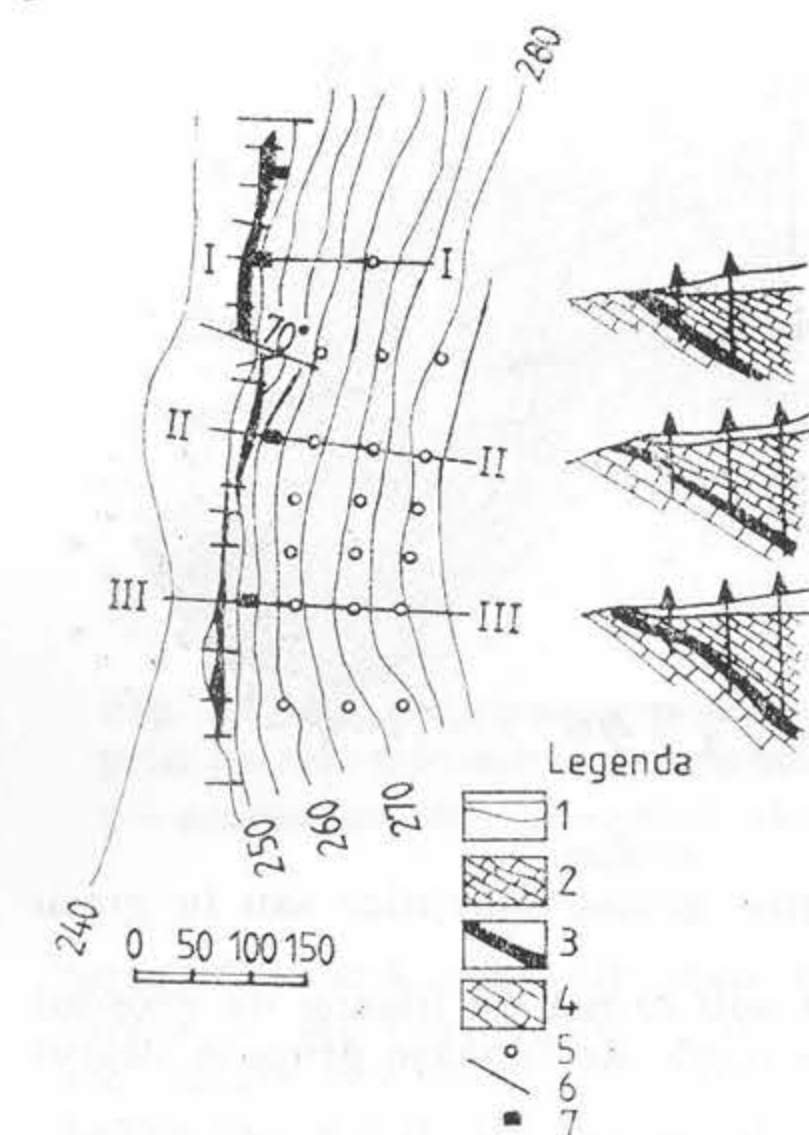


Fig. XI.135. Explorarea unui zăcămint de bauxită prin foraje de la suprafață:

1 — sol, 2 — calcare sarmațiene; 3 — bauxită;
4 — calcare cretacee; 5 — locațiile forajelor;
6 — șanțuri; 7 — puțuri de mină.

1 — sol, 2 — calcare sarmațiene; 3 — bauxită;
4 — calcare cretacee; 5 — locațiile forajelor;
6 — șanțuri; 7 — puțuri de mină.

Zăcămintele de mercur sînt rare și apar de regulă sub formă de impregnații de cinabru în roci poroase sau foarte fisurate. Zona mineralizată prezintă unele puncte sau sectoare cu îmbogățiri, localizate în special în planele de încălecare, în bolta anticlinalelor și în porțiunile foarte fisurate. Uneori cinabru apare în lentile de limonit și hematit, iar în alte zăcămintele el este însoțit de minerale de stibiu și arsen (stibină, realgar, tetraedrit etc.).

Rocile în care apar cantonate mineralizațiile cinabrifere sînt roci sedimentare grezoase, conglomeratice, alternînd cu șisturi cutate și fracturate. Mineralizația este de tip hidrotermal sau de substituție metasomatică. Uneori mineralizația de cinabru apare și în tufuri și breccii vulcanice dislocate și fisurate.

În explorare se ține seama în primul rînd de caracterul, structura și tectonica rocii colectoare.

Pentru aceasta explorarea se face printr-o rețea de foraje de mică adîncime combinată cu lucrări de suprafață și scurte galerii. După confirmarea datelor cerute în faza explorării preliminare pregătitoare se continuă explorarea preliminară principală prin lucrări subterane combinate, de la caz la caz, cu foraje de mică adîncime.

În ceea ce privește stibiul și arsenul, acestea formează zăcămintele mici și de importanță economică redusă care nu pun probleme din punctul de vedere al explorării. Dat fiind faptul că atât stibiul cît și arsenul apar în cantități mari asociate cu minereurile complexe, odată cu explorarea zăcămintelor de minereuri complexe se urmăresc și mineralizațiile de stibiu și arsen, cunoscut fiind că acestea apar predominant în zonele periferice mineralizațiilor complexe.

Explorarea zăcămintelor de nichel și de cobalt. Minereurile nichelifere și cobaltifere apar în natură sub formă de strate, de corpuri lenticulare de impregnație și filoane. Mai apar în minereurile complexe sau cuprifere ca metale secundare în parageneză cu Bi, Ag și U în zăcămintele primare reprezentate prin arseniuri și sulfoarseniuri sau sulfuri. De asemenea, apar ca produse reziduale pe roci ultrabazice și dolomitice prin bazine de concentrare.

Cînd se prezintă sub formă de strate, între acestea apar zone lateritice cobalto-nichelifere, asociate cu mineralizații cuprifere. Sub formă de rețele complexe de vinișoare de minereu cu caracter hidrotermal, apare nichelul și cobaltul în strate colectoare bituminoase cu caracter organogen.

Sub formă de corpuri lenticulare, mineralizația cu nichel și cobalt apare în norite, gabrouri, peridotite etc., la contactul serpentinelor sau în rocile înconjurătoare. Cînd apar sub formă filoniană sînt cuprinse în șisturi bituminoase sau în rocile bazice și ultrabazice.

Zăcămintele stratiforme situate aproape de suprafață se explorează prin lucrări miniere ușoare: șanțuri, puțuri de mină și care uneori se completează cu foraje de mică adîncime.

Zăcămintele lenticulare și filoniene se explorează de obicei cu rețele de foraje a căror aliniamente se amplasează la distanțe mari în exploatarea preliminară pregătitoare, care apoi se completează, în faza următoare de explorare, cu lucrări miniere și foraje de mică adîncime executate din subteran (fig. XI.136).

Explorarea zăcămintelor de crom. Minereul de crom îl constituie cromitele cu amestec de spineli de magneziu și spineli de fier.

Cromitele apar sub formă de pungi, de lentile stratiforme sau cuiburi de diferite dimensiuni, răspîndite în roci ultrabazice. Rocile obișnuite în care se găsesc corpurile și cuiburile de cromit sînt serpentinite alterate și dezagregate. De cele mai multe ori conținutul cel mai ridicat de crom se găsește în partea centrală a corpurilor și cuiburilor și scade spre periferia acestora.

În explorarea zăcămintelor de crom trebuie să se țină seama de aceste aspecte și de faptul că adeseori mineralizația se găsește închisă în mase mari magmatice, mai mult sau mai puțin serpentinizate, sub formă de cuiburi izolate fără legătură între ele și care nu pot fi detectate prin metodele geofizice. Ca primă indicație trebuie observate compoziția și structura rocilor înconjurătoare. Pe baza acestor date se trece la explorarea prin foraje sau prin galerii de coastă. Mineralizațiile întâlnite, dat fiind caracterul lor izolat, trebuie explorate sistematic, folosind cercetarea prin traversări

în cruce în locul urmăririi pe contur. Urmărirea pe verticală se face cu foraje sau lucrări miniere — suitori și coboritori.

Explorarea zăcămintelor de staniu și de wolfram. Zăcămintele de staniu și wolfram pot fi sub formă filoniană sau aluvionare. Sub formă filoniană apar în zonele marginale sau periferice ale granitelor, având ca minerale casiterita și wolframitul.

Sub formă aluvionară apar în special zăcămintele bogate în casiterită. Se consideră exploatabile aluviunile la un conținut de la 0,5 kg/m³ în sus. Aluviunile cu conținut de wolfram sînt mai reduse. Unele aluviuni se explorează și se exploatează simultan pentru ambele metale. Explorarea se face cu foraje în rețele de 50 × 100 m. În prealabil se execută foraje de referință

Explorarea de detaliu se face cu lucrări miniere.

Zăcămintele cu conținut de staniu mai mic, dar cu mai mult wolfram sub formă de scheelit, apar în skarne și în pegmatite.

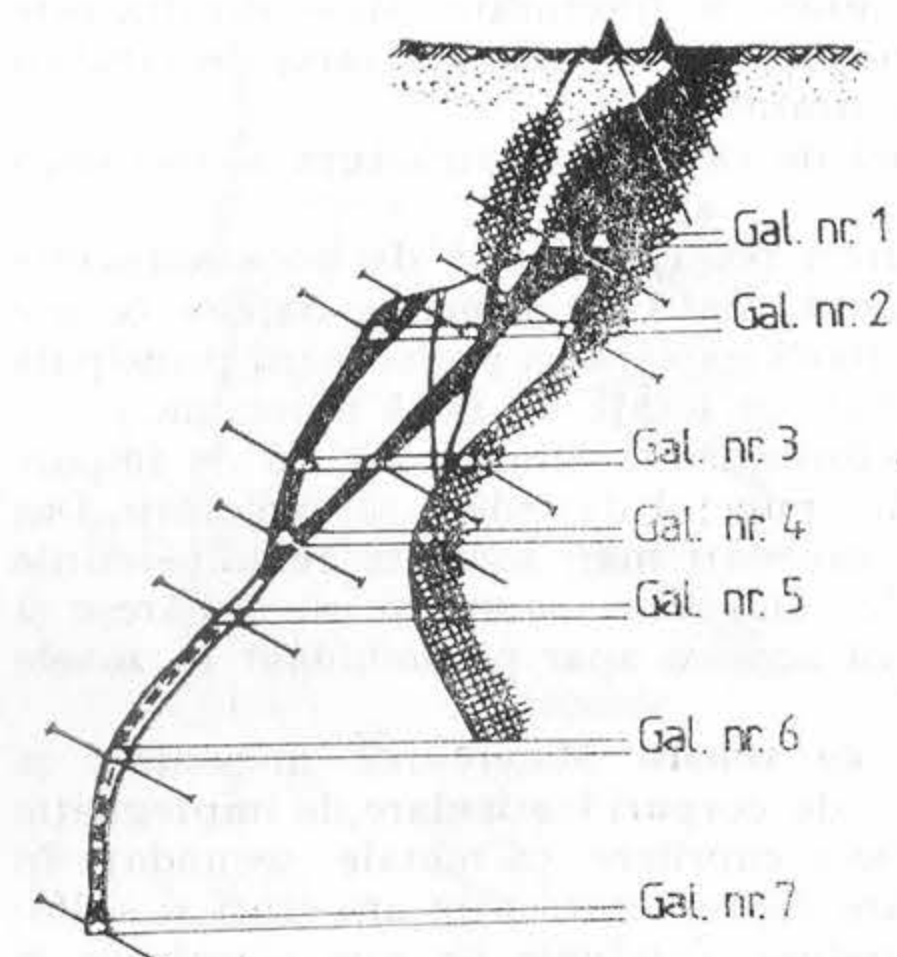


Fig. XI.136. Explorarea unui fipon nichelifer prin foraje și lucrări miniere.

Explorarea preliminară a skarnelor și a pegmatitelor cu scheelit sau cu casiterit se face de regulă prin foraje de referință, iar explorarea preliminară principală și de detaliu prin lucrări miniere și foraje dirijate.

Explorarea zăcămintelor de molibden și de bismut. Mineralizațiile de molibden ca și cele de bismut apar sub formă de impregnații, vinișoare, filonașe sau lentile mici de molibdenit și bismutină.

Atît molibdenul cît și bismutul mai apar în filoane de cuarț și carbonați, alături de mineralizații de plumb, zinc, cupru și pirită.

Zăcămintele de bismut apar sub aceleași forme ca și zăcămintele de molibden, fiind însoțite întotdeauna și de alte minereuri. De regulă mineralizațiile de bismut constituie zone îmbogățite de bismut, ale unor zăcămintele de skarn.

Explorarea se face prin foraje combinate cu lucrări miniere.

Explorarea în zonele de alterație ale unor zăcămintele de bismut în skarn se face prin lucrări de suprafață, iar în adîncime prin foraje.

Cînd apar sub formă de filoane, lentile etc., au contur foarte complicat și o distribuție foarte neuniformă în componenți utili și de aceea și explorarea este dificilă. În asemenea cazuri este indicată explorarea prin lucrări miniere.

Explorarea zăcămintelor de vanadiu. Minereurile caracteristice de vanadiu constituite din sulfuri apar sub formă de lentile sau filoane prinse în roci sedimentare bogate în hidrocarburi și traversate de dike-uri de roci eruptive. Acestea sînt rare.

Minereuri frecvente sînt cele de vanadați, care apar în pălăriile de fier ale unor zăcămintele de plumb și zinc sau de cupru.

Explorarea trebuie adaptată la specificul fiecărui zăcămint.

Lucrările de explorare preliminară au ca prim scop să delimiteze în mare zonele cu grosimi și conținut interesant. Cînd mineralizațiile sînt localizate în gabourile cu magnetit, se execută foraje în faza preliminară, pentru verificarea anomaliilor magnetice sau a ipotezelor privind extinderea zăcămintului. Cînd zăcămintul este omogen și la adîncimi ce nu depășesc 300 m, explorarea preliminară se face prin foraje, iar explorarea de detaliu prin lucrări miniere de suprafață.

Explorarea zăcămintelor de titan. Minereurile obișnuite pentru extragerea titanului sînt cele de rutil și ilmenit.

Zăcămintele primare au forme tabulare cu conținut ridicat în ilmenit și puțin magnetit.

Explorarea maselor tabulare a dike-urilor, a lentilelor și a filoanelor cu ilmenit, apatit și rutil se face în urma unor studii detaliate privind structura și răspîndirea corpurilor eruptive. Explorarea preliminară începe cu foraje de referință, după care se continuă în fazele următoare explorarea prin lucrări miniere.

Zăcămintele importante de titan și ușor de exploatat sînt cele aluvionare. Aluviunile cu rutil sau ilmenit pot fi valorificate la un conținut sub 10 kg/m³, mai ales atunci cînd din ele se valorifică și alte elemente ca: aur, magnetit, zircon etc. Explorarea aluviunilor titanifere se face prin foraje de mică adîncime, amplasate pe alinamente transversale așezate la distanțe de peste 1000 m în explorarea preliminară regătitoare, de pînă la 200 m în explorarea preliminară principală și la distanță de 50 m în explorarea de detaliu.

4.1.6.2. Explorarea zăcămintelor de metale rare cu utilizări speciale

Aceste metale se caracterizează prin proprietăți tehnologice deosebite și utilizări speciale în tehnica temperaturilor înalte, în radiotehnică, tehnica nucleară etc. Din această grupă fac parte cadmiul, indiumul, galiul, seleniul, beriliul, litiul, niobiul și tantalul, zirconiumul și telurul. Unele din acestea nu au minereuri proprii, apărînd fie în amestecuri izomorfe, fie în minerale comune (blendă, galenă etc.) sau sînt minerale însoțitoare ale unor minerale metalifere.

Alte metale rare cu utilizări speciale au minereuri proprii și apar asociate în unele pegmatite, apatite, carbonatite sau în zonele periferice ale unor intruziuni de granite sau de roci alcaline.

Explorarea zăcămintelor de beriliu. Mineralul din care se extrage este oxidul de beriliu, care formează cu roca minereul propriu.

Concentrațiile de beriliu formează zone în pegmatitele bogate în cristale mari. În anumite granite, beriliul poate fi un constituent normal, cu răspîndire uniformă, și exploatabil în unele zone. El mai poate apărea în filoane sau stockuri cu caracter pneumatolitic-hidrotermal, în anumite skarne în calcare, la contactul acestora cu intruziunile granitoide.

Explorarea minereului de beriliu se face împreună cu a altor minerale sau metale rare din pegmatite. Prin lucrări se determină zonalitatea, extinderea și structura corpului de pegmatit, folosind lucrări de suprafață și foraje de referință. Explorarea preliminară și de detaliu se face numai prin lucrări miniere la gabarit mic

(șanțuri și puțuri, fig. XI.137; galerii de coastă și transversale scurte, fig. XI.138). O deosebită atenție trebuie acordată probării.

Explorarea zăcămintelor de niobiu și tantal. Niobiul are diferite utilizări în tehnica nucleară, iar tantalul ca înlocuitor al platinei. Minereurile lor conțin minerale de niobotantalitați (tantalit, piroclor etc.). Se consideră valorificabile minereurile cu conținuturi de peste 0,02% Nb + Ta.

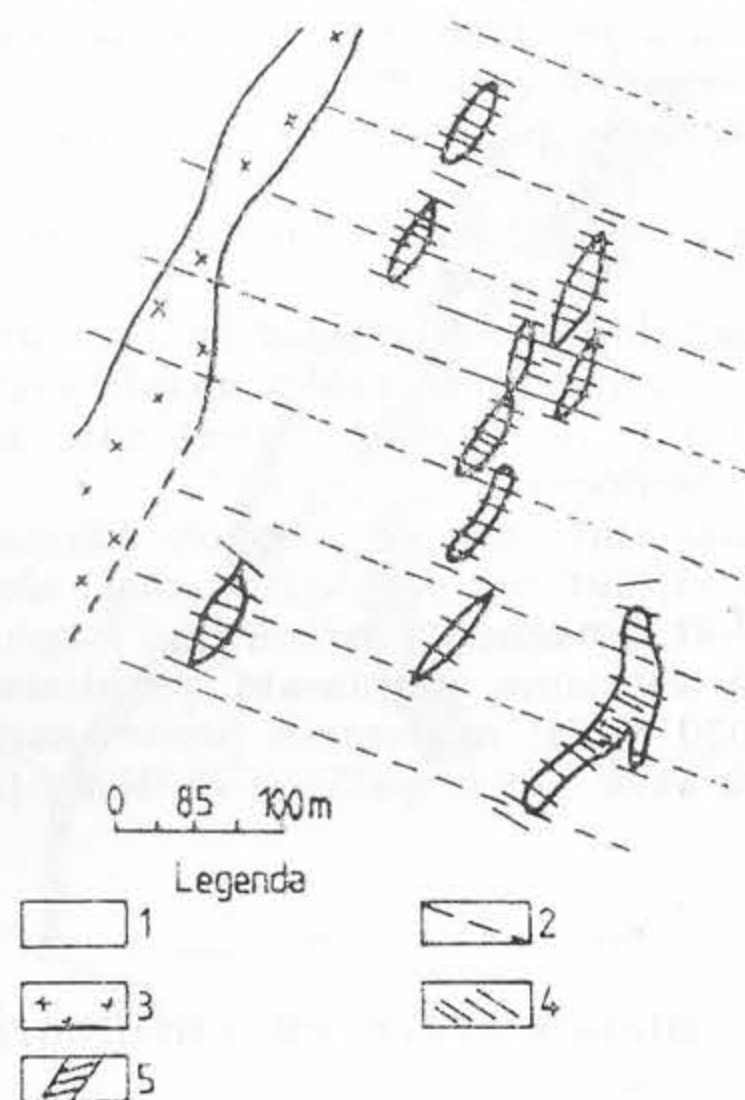


Fig. XI.137. Explorarea zăcămintelor de beriliu prin lucrări miniere: 1 - gnaise; 2 - aliniamente de puțuri; 3 - granite; 4 - șanțuri; 5 - pegmatite cu beriliu.

Niobotantalitații apar în granitoide, de obicei în pegmatitele granitice în care se găsește și beriliul. Metodologia de explorare este aceeași, fie că niobotantalitații apar în zone diferite, fie că apar împreună cu beriliul.

Zăcămintele importante de niobiu și tantal apar, de asemenea, în aluviunile din zona unor sienite.

Explorarea zăcămintelor de zirconiu și de hafniu. Aceste metale au utilizări în construcția utilajului și aparaturilor de temperatură înaltă sau anticorrosivă, în electrotehnica etc.

Cele mai interesante zăcămintele primare cu conținut uneori peste 1% apar în anumite zone ale unor sienite nefelinice sau în pegmatitele lor, în special în carbonatite.

Cele mai importante zăcămintele pentru extragerea zirconului și hafniului sînt zăcămintele aluvionare.

Metalul mai poate fi obținut ca produs secundar din aluviunile cu monazit.

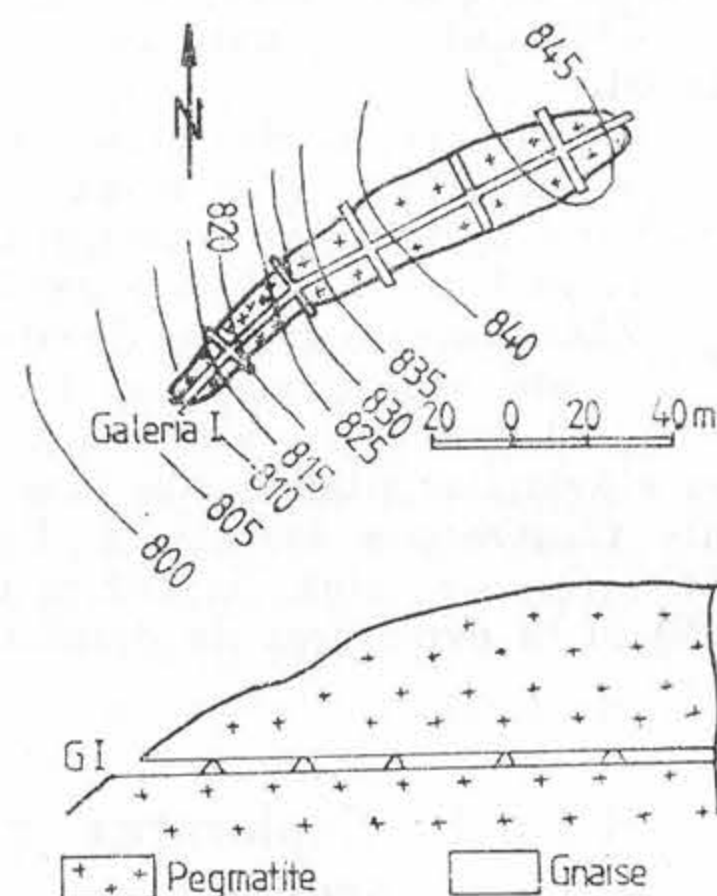


Fig. XI.138. Cercetarea pegmatitelor prin lucrări miniere subterane.

Explorarea zăcămintelor primare, respectiv a pegmatitelor, a unor zone din rocile alcaline a carbonatitelor și filoanelor exploatabile pentru zircon, se face după aceeași metodologie ca și în cazul beriliului, niobiului și tantalului.

4.1.6.3. Explorarea zăcămintelor de metale radioactive

În această grupă sînt cuprinse uraniul, thoriul și TR (lantanidele). Mineralele acestora se prospectează prin măsurări radiometrice și se urmăresc prin aceleași metode și în lucrările de explorare.

Zăcămintele de uraniu apar în condiții foarte diferite ca formă (lentile, impregnații, filoane) și mineralizare.

Explorarea zăcămintelor uranifere este în general dificilă și necesită un volum foarte mare de lucrări, dată fiind lipsa de legătură dintre diferitele corpuri mineralizate sau între filoanele ce prezintă îmbogățiri pe anumite zone.

În explorare este indicat să se urmărească controlul mineralizației, colecții petrografice și cei structurali și mai ales extinderea lor. Explorarea preliminară și cea amănunțită se face prin lucrări de suprafață (șanțuri, puțuri) și prin lucrări subterane (galerii scurte de coastă, galerii direcționale) și prin foraje, toate controlate în mod permanent cu radiometrul.

În ceea ce privește thoriul, sursa principală este reprezentată de monazite, de piroclor și de anumiți oxizi complecși care cuprind minerale de ceriu și TR.

Mineralizațiile cu monazite apar sub formă de impregnații în anumite zone ale masivelor granitice, dar mai ales în unele corpuri magmatice alcaline denumite zone TR.

Ca și celelalte metale rare cu utilizări speciale, thoriul și TR (monazite) se exploatează în cea mai mare parte din aluviuni a căror explorare se face prin foraje.

4.1.6.4. Explorarea zăcămintelor de metale din grupa platinei

Din această grupă fac parte: osmiul, iridiul, ruteniul, radiul și paladiul, care apar fie sub formă liberă sau aliate între ele, fie aliate cu fier, aur și nichel și mai rar sub formă de arsenuri, sulfuri sau stibiuri.

Sursa petrografică pentru aceste metale o constituie rocile ultrabazice, atît zonele de segregatie magmatică de tipul noritelor, cît și coșurile de dunite în care apare platina fin diseminată.

Explorarea platinei și a mineralelor din grupa sa se face în aluviuni, care reprezintă principala sursă de producție pentru aceste elemente.

4.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Indiferent de domeniul de utilizare, cărbunii trebuie obținuți la costuri cît mai reduse. În acest scop cheltuielile de explorare trebuie să fie reduse prin aplicarea metodelor de explorare corespunzătoare condițiilor de zăcămint, iar cheltuielile de exploatare, de asemenea reduse, prin aplicarea unor metode de mare productivitate

4.2.1. CLASIFICAREA ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI DIN PUNCTUL DE VEDERE AL EXPLORĂRII

Clasificarea cărbunilor sub aspectul explorării are la bază următoarele criterii: mărimea, structura, constituția și calitatea.

După criteriul *mărimii*, se împart în:

- zăcămintele foarte mari, cu rezerve exploatabile de peste 100 mil. tone;
- zăcămintele mari, cu rezerve exploatabile între 20 și 100 mil. tone;
- zăcămintele mijlocii, cu rezerve exploatabile între 5 și 20 mil. tone;
- zăcămintele mici, cu rezerve exploatabile între 0,6 și 5 mil. tone;
- zăcămintele foarte mici, cu rezerve exploatabile sub 0,6 mil. tone.

După criteriul *structural*, se împart în:

- zăcămintele slab ondulate, stratiforme cu înclinări mici, nefaliolate sau foarte puțin faliolate;
- zăcămintele cutate și faliolate dar cu stratificația și elementele de poziție ale straturilor bine distincte;
- zăcămintele cu structură geologică complicată, intens cutate și faliolate, sub formă de corpuri sau lentile, variate ca dimensiuni și poziție.

După criteriul *constituției*, se împart în:

- zăcămintele uniforme, cu grosimea și calitatea cărbunilor foarte puțin variabile;
- zăcămintele variabile, cu grosimea și calitatea variabile în limitele exploatabilității;
- zăcămintele foarte variabile, cu grosimea foarte variabilă, având îngroșări, lăminări și cu calitatea foarte diferită, depășind limitele de calitate.

După criteriul *calității*, clasificarea are la bază încadrarea cărbunilor în clasificările industriale.

Prin explorare, în cazul zăcămintelor foarte mari și mari, pe baza datelor prospecțiunii, se delimitează un perimetru de explorare ținând seama de tema dată, de capacitatea de lucru etc., folosind ca limite naturale geologice (fracturi, contacte etc.) sau limitele geografice (râuri, căi de comunicație, localități etc.)

4.2.2. CARACTERISTICILE GENERALE ALE EXPLORĂRII ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Zăcămintele de cărbuni apar, în general, sub formă de strate intercalate în formațiuni sedimentare caracteristice, bine dezvoltate, ceea ce are repercusiuni favorabile atât asupra metodelor de explorare cât și asupra volumului acestora.

Explorarea preliminară pregătitoare este mai dezvoltată în cazul cărbunilor decât pentru celelalte substanțe minerale, deoarece ea trebuie să completeze datele care în mod natural se obțin în prospecțiunea de detaliu și care se face în mai mică măsură sau nu se execută deloc în cazul cărbunilor.

Pe de altă parte, explorarea preliminară principală trebuie să furnizeze un volum suficient de date pentru ca să se poată proiecta exploatarea. De aceea, explorarea preliminară principală trebuie să aibă la bază un proiect general care să poată fi readaptat sistematic după noile date obținute pe parcurs.

În final explorarea preliminară trebuie să rezolve:

- geologia de amănunt a formațiunii carbonifere;

— geologia regiunilor vecine, dinamica formării bazinului etc.;

— calitatea și grosimea straturilor de cărbuni în aflorimente, extinderea și variația grosimii straturilor de cărbuni.

Cu excepția explorării de detaliu, lucrările de explorare preliminară se fac aproape exclusiv prin foraje. Punctele de interceptare sînt așezate pe aliniamente ce formează rețele regulate pătrate sau triunghiulare și care sînt orientate perpendicular pe direcția accidentelor structurale, cute și falii.

Numai în cazul cînd explorarea preliminară prin foraje nu poate clarifica în suficientă măsură structura din cauza tectonizării pronunțate, a adîncimii mari etc., se recurge parțial la lucrări miniere însoțite de foraje subterane.

Pentru a avea o dozare rațională a lucrărilor de explorare se recomandă să se traseze pe harta bazinului o rețea regulată de locații de foraje la distanțele maxime, denumită *rețeaua fundamentală* și față de acestea să se amplaseze, în funcție de necesități, noi locații. Se vor evita rețelele de desime mare pentru adîncimi mai mari de 500 m.

Explorarea de detaliu a cărbunilor este indicată numai în măsura realizării gradului de asigurare a extracției.

4.2.3. FAZELE ȘI SPECIFICUL EXPLORĂRII ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

În ceea ce privește fazele de explorare ele sînt aceleași, dar diferă comparativ cu alte substanțe, prin felul lucrărilor de explorare și ponderea lor în procesul de cercetare a cărbunilor.

Explorarea preliminară. În majoritatea cazurilor explorarea zăcămintelor de cărbuni începe pe baza unor date sumare asupra regiunii și asupra zăcămintului; de aceea, prin metodologia și etapele de lucru trebuie să se asigure obținerea tuturor datelor necesare întocmirii proiectului de explorare preliminară principală și în cele din urmă o evaluare cît mai precisă a rezervelor zăcămintului.

— *Explorarea preliminară pregătitoare.* În această subfază este necesar să se completeze datele prospecțiunii, în ceea ce privește precizarea așezării, forme, extinderii și parametrilor calitativi ai zăcămintului, cu ajutorul unor lucrări ușoare.

Dacă nu s-au efectuat cercetări suficiente este necesar să se întocmească harta topografică de detaliu la scara 1:10 000 sau cel puțin 1:25 000, harta geologică de detaliu la scara 1:10 000 și secțiuni caracteristice prin bazinul carbonifer și formațiunile din fundament. Lucrările de completare a cartării și prospecțiunii, spre deosebire de prospecțiune, au în subfaza explorării preliminare un caracter specific explorării în sensul că ele trebuie să verifice ipoteza extinderii zăcămintului.

Pentru zăcămintele cu structură complicată, la care forajele nu pot furniza date suficiente, cum sînt zăcămintele de cărbuni superiori care sînt frămîntate și intercalate în structuri complexe, ele se înlocuiesc în parte cu lucrări miniere sau lucrări combinate.

— *Explorarea preliminară principală.* Această subfază se caracterizează printr-un volum mare de lucrări grele. Date fiind atât tehnica specială de execuție a acestor lucrări cît și costul lor ridicat, este necesar ca metodica lucrărilor să fie stabilită pe baza unui studiu tehnico-economic în mai multe variante și în care să se țină seama

de posibilitatea folosirii lucrărilor în faza următoare de explorare sau în faza de exploatare.

Ținând seama de criteriile de clasificare a zăcămintelor de cărbuni sub aspectul explorării, metodologia lucrărilor de explorare se diferențiază după următoarele cazuri:

- zăcămintele mari stratiforme, cu grosimi și înclinări puțin variabile, situate la adâncimi mai mici de 500 m, se explorează prin foraje dispuse în rețele uniforme;
- zăcămintele mari stratiforme, dar cu grosimi și înclinări variabile, situate la adâncimi până la 1 000 m, se vor explora prin foraje dispuse în rețele uniforme numai dacă din punct de vedere economic exploatarea este justificată la aceste adâncimi și fără să se mărească densitatea lucrărilor de explorare;

- zăcămintele mari și mijlocii, cu grosimi foarte variabile și cu structuri complicate, se explorează prin foraje în subfaza explorării preliminare pregătitoare, iar în subfaza explorării preliminare principale prin foraje și lucrări miniere;

- la zăcămintele mijlocii și mici, cu sorturi de cărbuni de valoare mare, dar formate din strate distorsionate, din lentile sau corpuri compuse în formațiuni dislocate, se aplică metodologia de explorare folosită pentru minereuri.

Explorarea de detaliu. Această fază se execută numai în anumite condiții, legate de punerea în exploatare a perimetrului cercetat sau a unei părți din acesta. Ea are ca obiectiv realizarea unui grad de asigurare a exploatarei cu rezerve deschise și pregătire pentru o anumită perioadă de exploatare de 0,5–2 ani. În acest scop se execută lucrări miniere — deschiderea zăcămintului, lucrări de pregătire — galerii, suitori pentru compartimentarea în blocuri și panouri de exploatare.

4.2.4. EXEMPLE DE EXPLORARE A ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Zăcămintele de cărbuni, chiar și cele considerate uniforme, pot prezenta porțiuni cu structuri diferite. Din aceste motive sectorizarea sau raionarea din punctul de vedere al structurii, calității etc., a stratului se impune ca o necesitate pentru realizarea unei explorări raionale a zăcămintului carbonifer sau a bazinului respectiv.

Raionarea mai este impusă și de considerații legate de sistematizarea exploatarei, efectuarea lucrărilor de deschidere și pregătire în cadrul explorării de detaliu etc., și de determinarea rezervelor.

Rezervele se vor putea contura astfel la diverse categorii, ținând seama și de gradul de complicație a raioanelor respective.

Criteriile de raionare sînt diferite. Pentru stratele de cărbuni cutate, raionarea poate fi făcută pe baza datelor geologice de suprafață și verificată prin foraje de referință sau o rețea foarte rară de foraje. În cazul stratelor de cărbuni deformați de mișcări tectonice se recomandă separarea zonelor mai intense deformați de cele mai puțin deformați etc.

Cazul I al unui zăcămint de lignit situat în formațiuni slab cutate. Considerînd un zăcămint de lignit aproape de suprafață, situat în formațiuni tinere slab cutate, pentru explorarea sa se face raionarea unor sectoare ale bazinului în explorarea preliminară pregătitoare. Lucrările din această subfază cuprind forajele executate pe aliniamente distanțate la 5–15 km, iar distanța între locații este de 1–2 km. Prin aceste aliniamente se urmărește delimitarea raioanelor (perimetrelor) cu condiții diferite în ceea ce privește structura și exploatarea.

În figura XI.139 este reprezentat un astfel de perimetru de cercetare cu o suprafață de 12,5 km. În subfaza principală a explorării preliminare se execută o rețea de foraje cu locații la distanța de 1 km, prin care s-a interceptat stratul principal cu grosimi între 3,5 și 6,5 m, situat în cea mai mare parte deasupra nivelului hidrostatic. A fost completată rețeaua cu locații de foraj pînă la distanța de 600 m și parțial pînă la 300 m, în scopul obținerii datelor proiectării exploatarei.

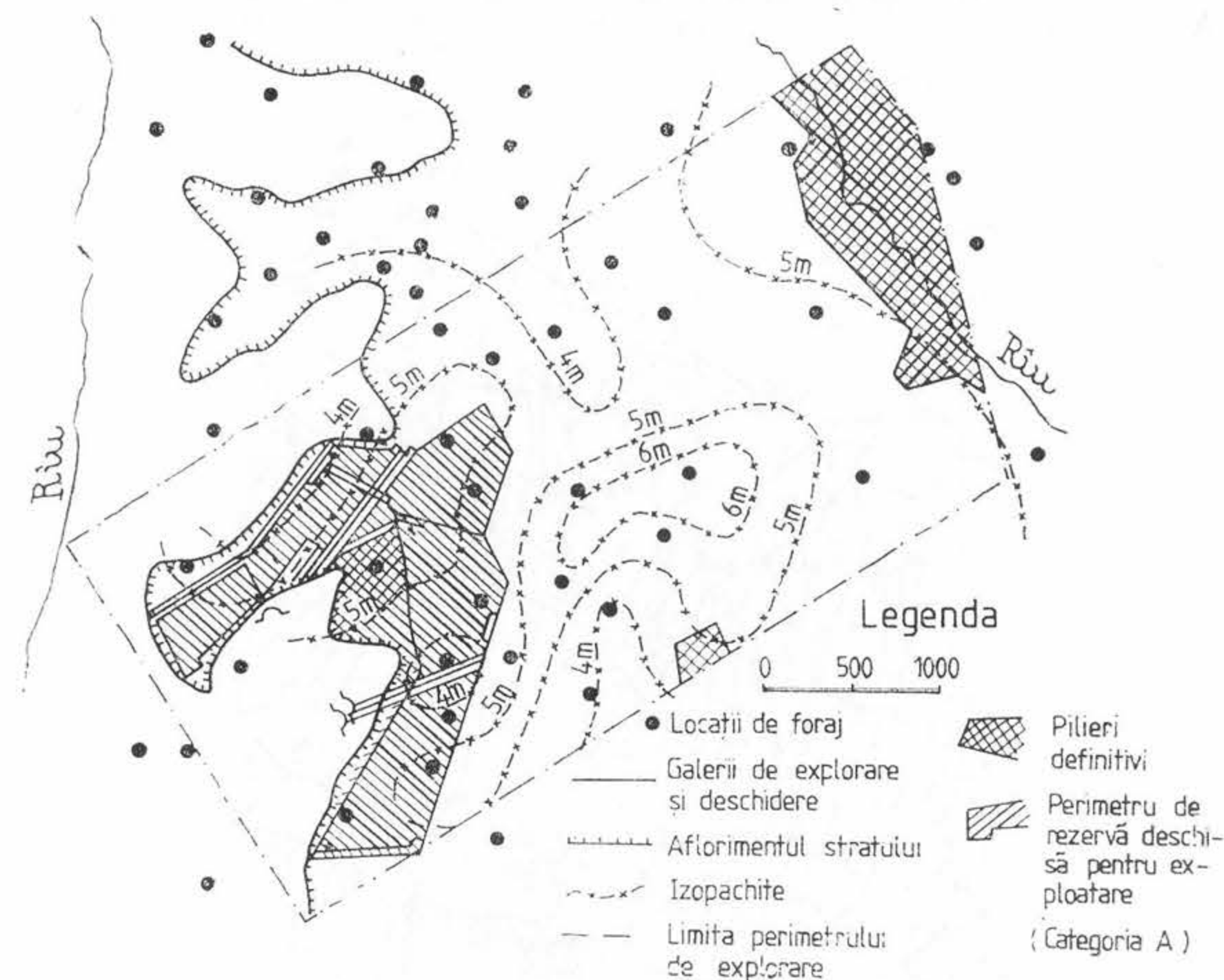


Fig. XI.139. Explorarea unui strat de lignit cuprins într-o formațiune carbunoasă slab cutată (Pliocen).

Explorarea de detaliu se efectuează prin lucrări miniere cu ajutorul cărora este deschisă rezerva pentru asigurarea exploatarei.

Cazul II al unui zăcămint de huilă în formațiuni cutate și feliate. Într-o formațiune carboniferă cu grosimea de 100–300 m sînt localizate mai multe strate cu grosimi cuprinse între 0,5 și 40 m. Bazinul carbonifer are forma unei cuvette, adîncă de peste 1 000 m, strînsă în formațiunile de fundament care se ridică pe flancuri și interceptată de numeroase falii longitudinale și transversale. În bazin există exploatare de cărbune și foraje de referință și în consecință n-a mai fost necesară explorarea preliminară pentru perimetrul în cauză, care este situat în extinderea celor în exploatare. De aceea s-a trecut la explorarea perimetrului direct în subfaza explorării preliminare principale.

Pentru delimitarea rețelei de foraj a explorării preliminare principale, s-au executat mai multe foraje situate pe un aliniament așezat în lungul bazinului și mai multe foraje izolate. Toate forajele au interceptat stratele de cărbune și au confirmat structura generală de albie cu continuitatea zăcămintului, dar au pus în evidență existența unor structuri complicate și nu au dat posibilitatea să se coreleze secțiunile.

Pentru clarificarea structurii s-a întocmit o rețea de bază, de explorare prin foraje distribuite uniform în triunghi, la circa 300 m distanță. În felul acesta forajele explorării preliminare principale au permis clarificarea structurii stratelor, astfel încât

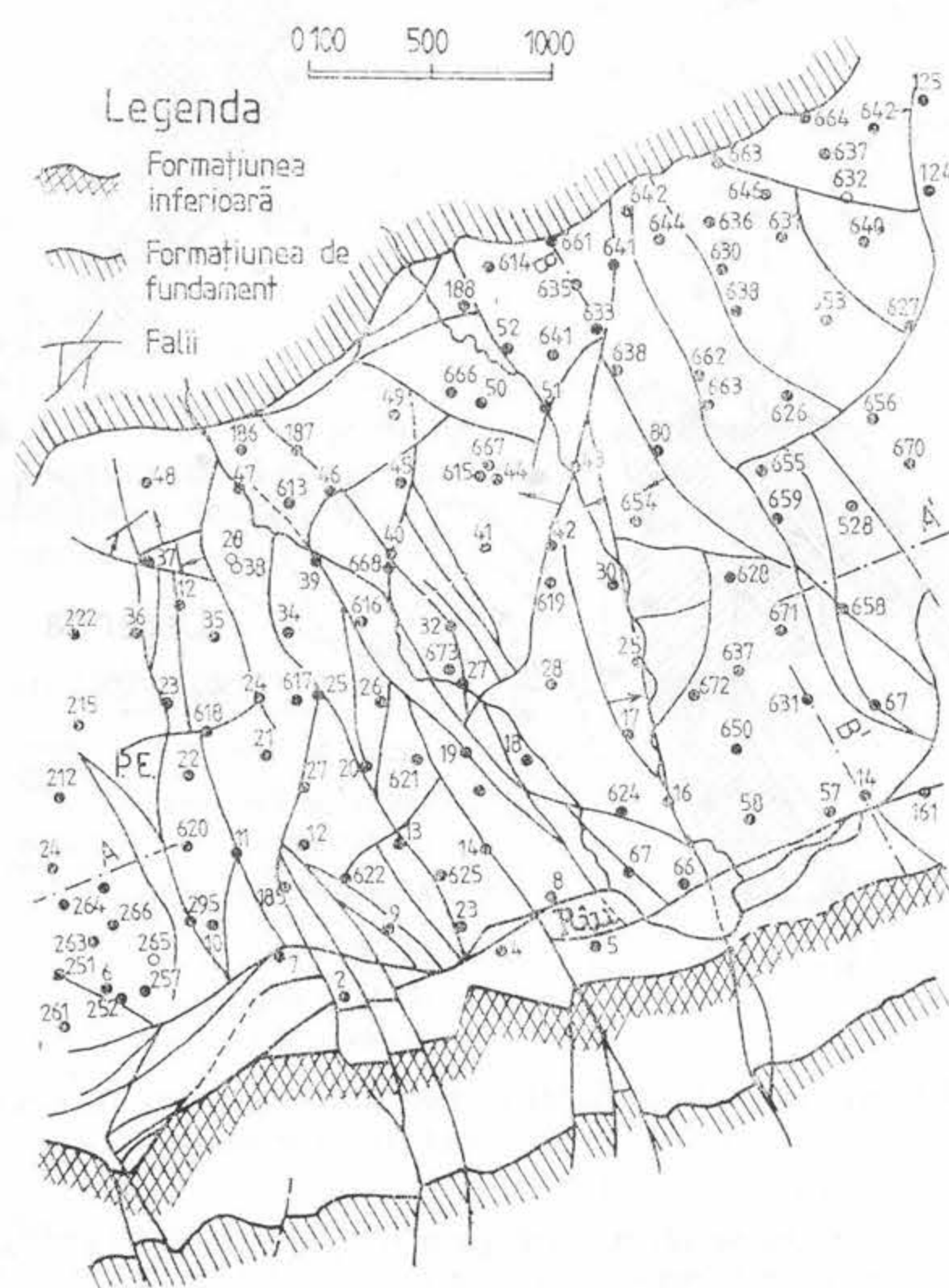


Fig. XI.140. Explorarea preliminară a unui zăcămint de huiă cutat și faliat, prin foraje dispuse în rețea.

să se poată trece pe baza lor la explorarea de detaliu și să se poată proiecta rețeaua de lucrări miniere de deschidere a zăcămintului. În fig. XI.140 sînt indicate limitele geologice principale, faliile și locațiile forajelor care sînt numerotate, precum și două secțiuni prin zăcămint (fig. XI.141).

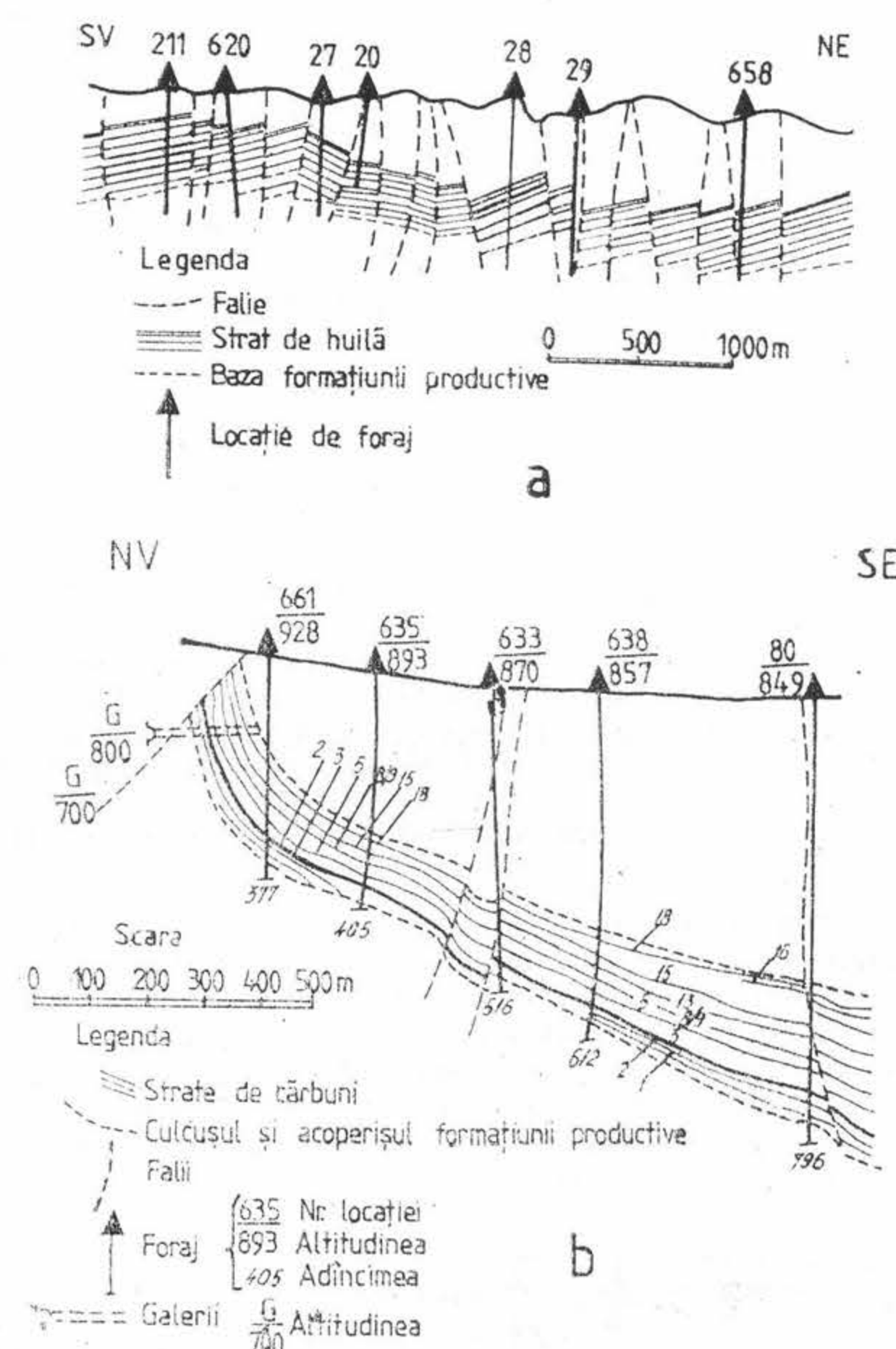


Fig. XI.141. Secțiuni geologice prin zăcămintul de huiă din fig. XI.140:

a — secțiune longitudinală A—A'; b — secțiune transversală B—B'.

4.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE NEMETALIFERE ȘI DE ROCI UTILE

Substanțele minerale utile nemetalifere cuprind acele substanțe care pot fi valorificate în stare brută sau în urma unei prealabile prelucrări. Domeniile de utilizare a acestora sînt foarte variate: industrie, construcții, agricultură, chimie etc.

Metodologia de explorare are la bază aceleași criterii ca și în cazul zăcămintelor de minereuri, cu unele particularități legate de condițiile de zăcămint ale substanței nemetalifere respective.

După condițiile de zăcămint și posibilitățile de valorificare, zăcămintele de substanțe nemetalifere se clasifică în patru grupe:

- zăcămintele ce apar în corpuri geologice exploatabile pe dimensiuni mari, cum sînt masivele de roci magmatice (granite, andezite, bazalte etc.);
- zăcămintele valorificabile numai parțial, în anumite zone, care au anumite proprietăți fizico-mecanice (calcare, dolomite, nisipuri caolinoase, argile refractare etc.);
- zăcămintele stratiforme interstratificate în alte roci (săruri, gips, barită, tale, azbest, calcit etc.);
- zăcămintele sub formă de cuiburi de diferite dimensiuni, care apar sporadic în masa rocilor comune (diamant, calcedonie, feldspat, mică etc.);

Cu excepția zăcămintelor din ultima grupă, celelalte acumulări devin exploatabile în condițiile explorării la costuri scăzute.

În ceea ce privește explorarea, trebuie aplicate metode puțin costisitoare, prin care se urmărește verificarea ipotezelor asupra extinderii zăcămintului și stabilirea potențialului acestuia.

Ținînd seama de varietatea mare în care apar substanțele nemetalifere, tratarea sub aspectul explorării este făcută pe clase de substanțe: gips și anhidrit, sare gemă, săruri de potasiu, fosforite, roci carbonatice, silicați aluminosi etc.

4.3.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE GIPS ȘI ANHIDRIT

Gipsul apare sub formă de strate sau lentile cu grosimi variabile, pînă la cîteva zeci de metri. Stratele mai subțiri pot alterna la anumite nivele cu strate subțiri de marne, iar cele cu grosimi mai mari conțin adesea intercalații de marne, argile etc. Sub formă de interstratificații apare adesea în zona inferioară a zăcămintelor de sare. Sub acțiunea presiunii și a căldurii gipsul pierde apa de cristalizare și se transformă în anhidrit, de aceea nu apare la adîncimi mai mari de 200 m.

Depozitele de gips ce afloră se explorează prin șanțuri și puțuri, iar cele acoperite — prin foraje de mică adîncime.

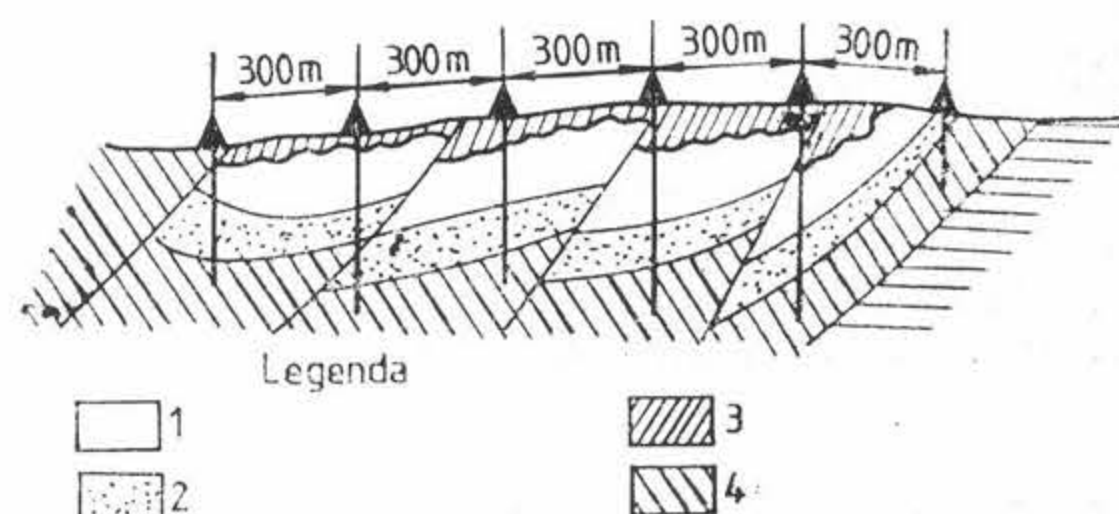


Fig. XI.142. Explorarea preliminară a unui zăcămint de gips:
1 — gips alabastru; 2 — gips impur; 3 — argile descoperite; 4 — marne de culeuș.

Explorarea preliminară pregătitoare se face prin foraje de referință, iar explorarea preliminară principală printr-o rețea de foraje dispuse pe aliniamente așezate perpendicular pe direcția zăcămintului și la distanțe cuprinse între 300 și 1000 m.

Distanța între forajele aceluiași aliniament variază între 100 și 300 m (fig. XI.142).

Pentru explorarea de detaliu se utilizează rețele cu distanță între foraje de 50 m.

4.3.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SARE GEMĂ ȘI DE SĂRURI DE POTASIU

Depozitele de sare apar sub formă de strate lentiliforme cu dimensiuni mari, corpuri cilindrice verticale diapire, apofize sau corpuri complexe insinuate de fracturi, punji sau impregnații de sare.

Datorită condițiilor variate în care apar masivele de sare, explorarea preliminară pregătitoare trebuie să clarifice geologia zăcămintului. Ipotezele asupra formei extinderii și calității zăcămintului se verifică prin foraje de referință, șanțuri, puțuri și determinări hidrogeochimice, după care se completează și se corelează datele în etapa următoare, a explorării preliminare principale, prin unele lucrări miniere subterane și foraje subterane.

O atenție deosebită trebuie acordată amplasării acestor lucrări de explorare. Se va evita amplasarea la contactul dintre sare și rocile înconjurătoare și, în general, în zonele în care pot avea loc infiltrații de ape superficiale sau pot pătrunde, la masivul de sare, ape din strate acvifere. După verificarea ipotezei asupra distribuției sării și asupra formei zăcămintului, care se face prin cîteva foraje de referință pînă la 1000 m, se alege rețeaua de foraje la gabarite de 200 m × 200 m sau de 300 m × 300 m, din care apoi explorarea continuă pe aliniamente perpendiculare pe direcția de extindere a masivului, la distanțe de 900—1500 m (fig. XI.143).

În cazul exploatării sării prin dizolvare, explorarea se va face în mod exclusiv prin foraje pe aliniamente așezate la distanțe de 600—1200 m, cu distanța între punctele de pe aliniament de 300—600 m.

Explorarea de detaliu se face prin foraje prin care se exploatează în cele din urmă sarea dizolvată — saramura.

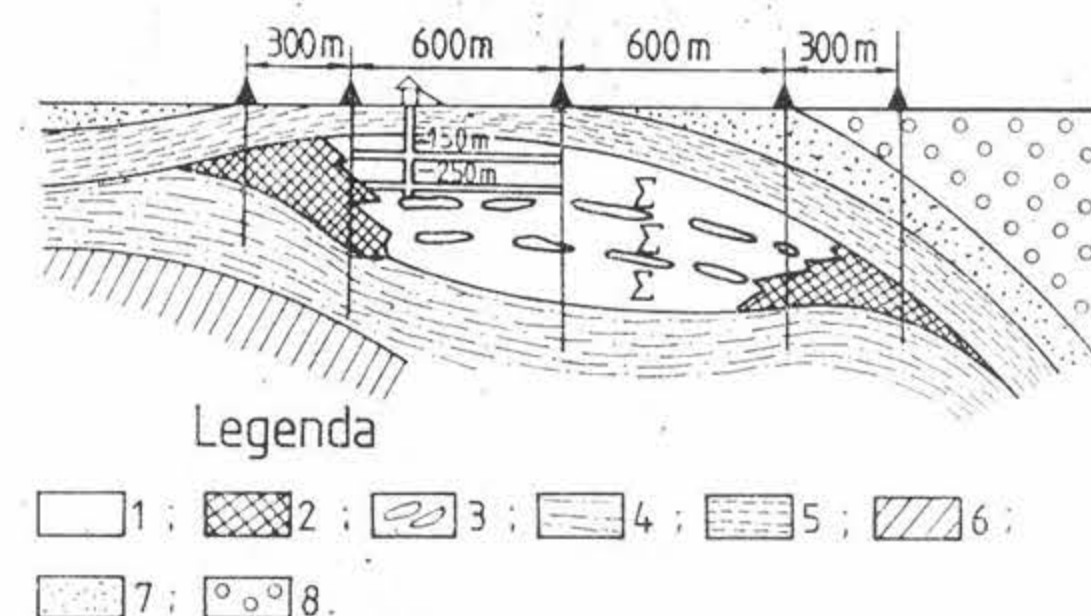


Fig. XI.143. Explorarea preliminară și de detaliu a unui zăcămint de sare:

1 — sare; 2 — breția sării; 3 — intercalații marnoase în sare; 4 — marne cu globigerine; 5 — marne tufitice; 6 — gresii marnoase; 7 — gresii marno-calcaroase; 8 — gresii și conglomerate.

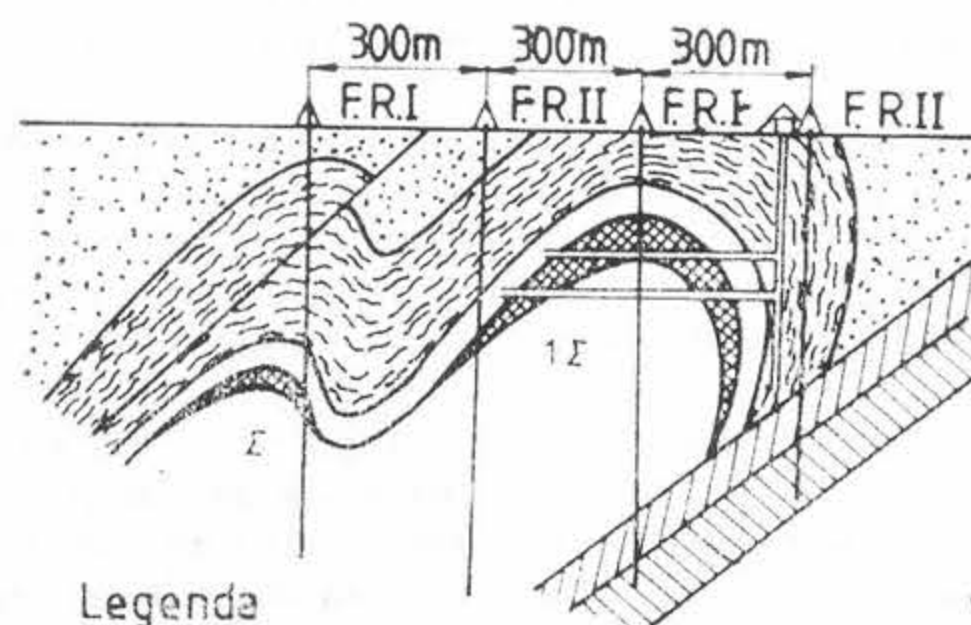
Dacă exploatarea se va face prin camere, explorarea preliminară principală se realizează prin foraje de suprafață sau foraje dirijate din lucrări subterane, iar explorarea de detaliu se face numai prin lucrări subterane, completate cu unele foraje dirijate din acestea, la gabarite de 50—100 m.

Sărurile de potasiu apar sub formă de strate alternînd cu depuneri de halit, de gips și în special de săruri de magneziu și de silvină.

Mineralul principal pentru potasiu este silvina (KCl). Se consideră exploatabile stratele cu un conținut de peste 10% K_2O .

Prin explorarea preliminară, ca și în cazul sării geme, trebuie să se clarifice structura zăcămintului prin corelarea datelor anterioare obținute prin prospecțiune cu cele obținute în explorarea preliminară pregătitoare. În faza următoare a explorării

preliminare principale, o atenție deosebită se acordă structurii porțiunilor din acoperișul corpurilor de sare, întrucât sărurile de potasiu fiind foarte plastice pot suferi deformări importante. Explorarea preliminară principală se face prin lucrări miniere completate cu foraje subterane (fig. XI.144).



Legenda

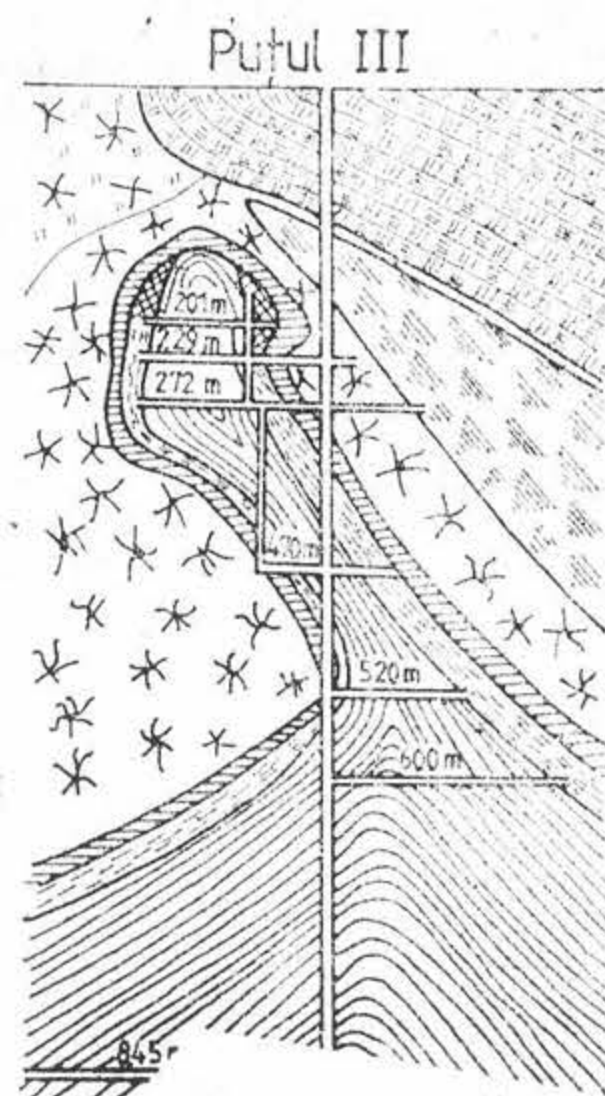
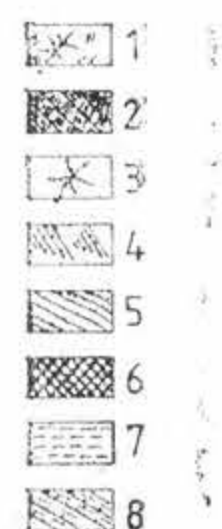


Fig. XI.145. Explorarea de detaliu a unui zăcămint de săruri de potasiu:

1 - gips; 2 - formațiuni greziase; 3 - anhidrit; 4 - săruri impure; 5 - săruri argiloase; 6 - săruri de potasiu; 7 - săruri de magneziu; 8 - breșă sării.

Legenda

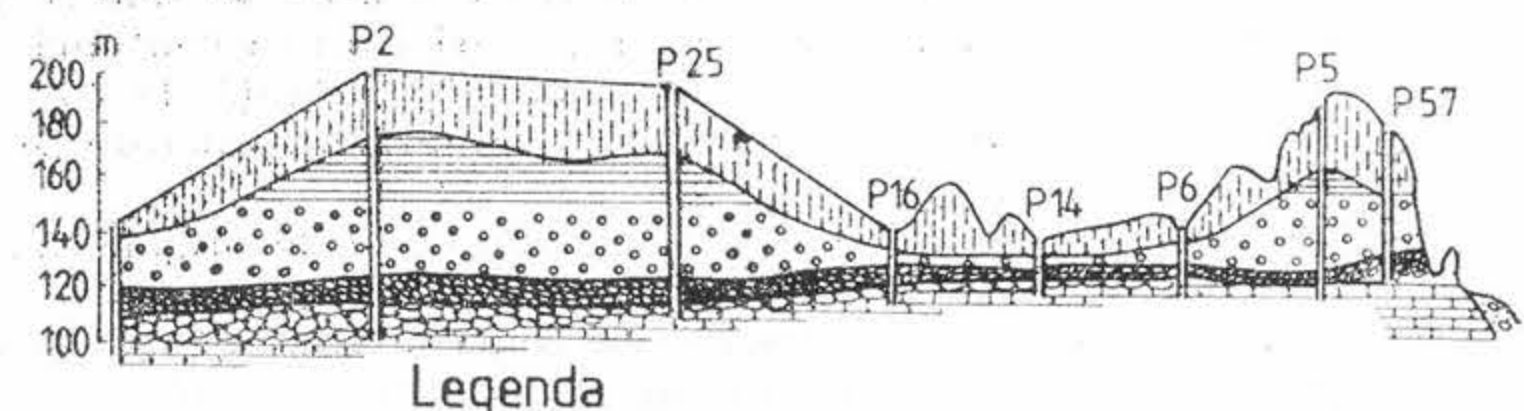


Explorarea de detaliu se execută pe măsura necesităților, folosind lucrări miniere prin care se urmărește și compartimentarea zăcămintului în vederea exploatării lui (fig. XI.145).

Probarea zăcămintelor de săruri de potasiu se face prin brazde în lucrările subterane care traversează zăcămintul sau din carotele obținute din foraje.

4.3.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FOSFORITE

Sub denumirea de *foslofoite* sînt cuprinse acumulările de roci bogate în fosfor. În marea lor majoritate aceste roci sînt sedimentare, mai mult sau mai puțin metamorfozate. Anumite pegmatite conțin fosfor cînd sînt bogate în apatite.



Legenda



Fig. XI.146. Explorarea preliminară a unui zăcămint de fosforit prin puțuri:

1 - aluminiu; 2 - argile; 3 - nisipuri cuarțoase; 4 - nisipuri argiloase; 5 - nisipuri; 6 - fosfați; 7 - nisipuri conglomerate; 8 - argile și silexuri; 9 - calcare cretoase.

Mineralele comune cuprinse în fosforite sînt apatitele (fluorapatitul, clorapatitul, hidroxiapatitul și carbonatapatitul), cuprinzînd trifosfatul de calciu și alți compuși ai calciului. În fosforitele sedimentare, fosforul apare sub formă de colofan — un gel de feldspat de calciu.

În general, depozitele fosforitice se caracterizează prin grosimi variabile și discontinuitate în cadrul acelorași formațiuni sau strate.

Explorarea preliminară se face prin foraje sau puțuri, pentru conturarea blocurilor geologice sau a zonelor mineralizate (fig. XI.146). Pe baza datelor obținute se continuă explorarea preliminară principală, pentru conturarea pe direcție, prin lucrări miniere, a blocurilor mineralizate. Explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere, prin care se urmărește deschiderea și compartimentarea (pregătirea) zăcămintului pentru exploatare.

Probarea zăcămintului se face prin brazde, la distanțe de 5—10 m, în galeriile care urmăresc zăcămintul, și în galerii transversale sau breșe în cazul grosimilor mari.

4.3.4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CALCITĂ, CELESTINĂ, BARITINĂ ȘI FLUORINĂ

Calcita apare în natură sub formă de filoane, lentile sau corpuri neregulate de origine hidrotermală. Are utilizări restrînse, fiind folosită în special ca material piezoptic pentru aparate de laborator.

Explorarea preliminară pregătitoare se face prin dezveliri și șanțuri în terenurile acoperitoare, iar explorarea preliminară principală prin foraje de mică adâncime (până a maximum 100 m adâncime), așezate la distanțe de 25–100 m, pentru stabilirea formei, extinderii și constituției zăcămintului.

Explorarea de detaliu se face cu galerii sau puțuri de explorare amplasate în rocile înconjurătoare, din care apoi se continuă explorarea zăcămintului prin foraje dirijate și galerii până la contactul cu corpurile de calcită.

Celestina apare sub formă de strate, însoțind uneori depozite de gipsuri. Este singura sursă industrială pentru extragerea stronțului. Zăcămintele de celestină sînt bine dezvoltate cînd deasupra gipsului se găsesc calcare organogene. În explorarea preliminară pregătitoare se execută foraje de referință pentru cercetarea contactelor zăcămintelor de gips sau a unor acumulări de gips, după care se continuă explorarea preliminară principală prin lucrări miniere amplasate la distanță de 200 m.

Explorarea de detaliu se execută numai prin lucrări miniere prin care se urmărește și deschiderea și pregătirea zăcămintului.

Baritina apare sub formă de filoane și corpuri lenticulare de origine hidrotermală, în calcare și roci eruptive.

Explorarea zăcămintelor de baritină se face după aceeași metodică aplicată la zăcămintele de minereuri.

Explorarea preliminară pregătitoare urmărește delimitarea zonei de extindere a baritei și stabilirea ipotezei asupra formei și constituției zăcămintului, folosind lucrări de suprafață și foraje de referință. Explorarea preliminară principală se execută cu lucrări miniere (galerii direcționale, breșe etc.) și foraje dirijate.

Explorarea de detaliu se face pe baza studiului tehnico-economic, urmărindu-se concomitent deschiderea și pregătirea zăcămintului.

Fluorina apare frecvent în ganga zăcămintelor hidrotermale de plumb și zinc, cupru etc., formate la diverse temperaturi, de la hipo la epitermale, împreună cu cuarțul, baritina, calcita și siderita.

Explorarea se face după aceleași criterii ca și în cazul explorării zăcămintelor filoniene de minereuri.

4.3.5. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FELDSPAT, MICĂ ȘI CUARȚ

Feldspatul, mica și cuarțul au numeroase utilizări în industrie. Feldspatul este folosit în special în ceramică, pentru glazura porțelanurilor etc., mica se utilizează ca izolator în industria electrotehnică și în construcția unor mașini și utilaje, iar cuarțul este utilizat ca material piezoelectric.

Feldspatul, mica și o mare parte din cuarțul piezoelectric se găsesc în pegmatitele granitice.

Explorarea pegmatitelor pentru feldspat, mică și cuarț este dificilă, deoarece acestea apar sub formă de corpuri de dimensiuni mici și cu forme foarte complicate, răspândite pe o suprafață mare și avînd o constituție capricioasă.

Explorarea preliminară pregătitoare urmărește în primul rînd nivelul la care se găsesc corpurile pegmatitice și sorturile substanțelor nemetalifere. Se efectuează prin puțuri, galerii de coastă și prin foraje de referință de mică adâncime, pentru clarificarea ipotezei asupra extinderii și distribuției corpurilor pegmatitice în zona cercetată.

Explorarea preliminară principală se continuă prin galerii de coastă, breșe și foraje dirijate, pentru delimitarea corpurilor de pegmatit, compoziției lor pe sorturi și extinderii acestora.

La explorarea de detaliu este indicat să fie cercetate simultan mai multe corpuri.

4.3.6. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SERPENTINĂ, TALC ȘI MAGNEZIT

Serpentina pură este formată din MgO (43%), SiO₂ (44,1%) și H₂O (12,9%). Printr-un metamorfism hidrotermal mai avansat sau în legătură cu acțiunea de siliciere și a bioxidului de carbon rezultă talcul (31,7% MgO, 63,5% SiO₂ și 4,8% H₂O) și magnezitul (47,6% MgO și 52,41% CO₂).

Zăcămintele de serpentină, talc și magnezit au de cele mai multe ori structuri complexe, apărînd sub formă de filoane, lentile, coșuri, strate etc., de diferite sorturi. De aceea și explorarea lor este foarte complicată. În explorarea preliminară pregătitoare se urmărește studiul structurii și metamorfismului, precum și evoluția magmatismului, ținînd seama și de rocile învecinate. Prin lucrările de referință formate din șanțuri, puțuri, galerii de coastă și foraje se clarifică ipoteza formei zăcămintului și distribuției mineralizației. În explorarea preliminară principală se urmărește extinderea mineralizației și precizarea caracterului acesteia, printr-un program corespunzător de lucrări miniere sau combinate. În corpurile mari de serpentine se pot aplica gabarite între 300 și 1 000 m, iar pentru corpurile mici gabarite între 50 și 300 m (fig. XI.147).

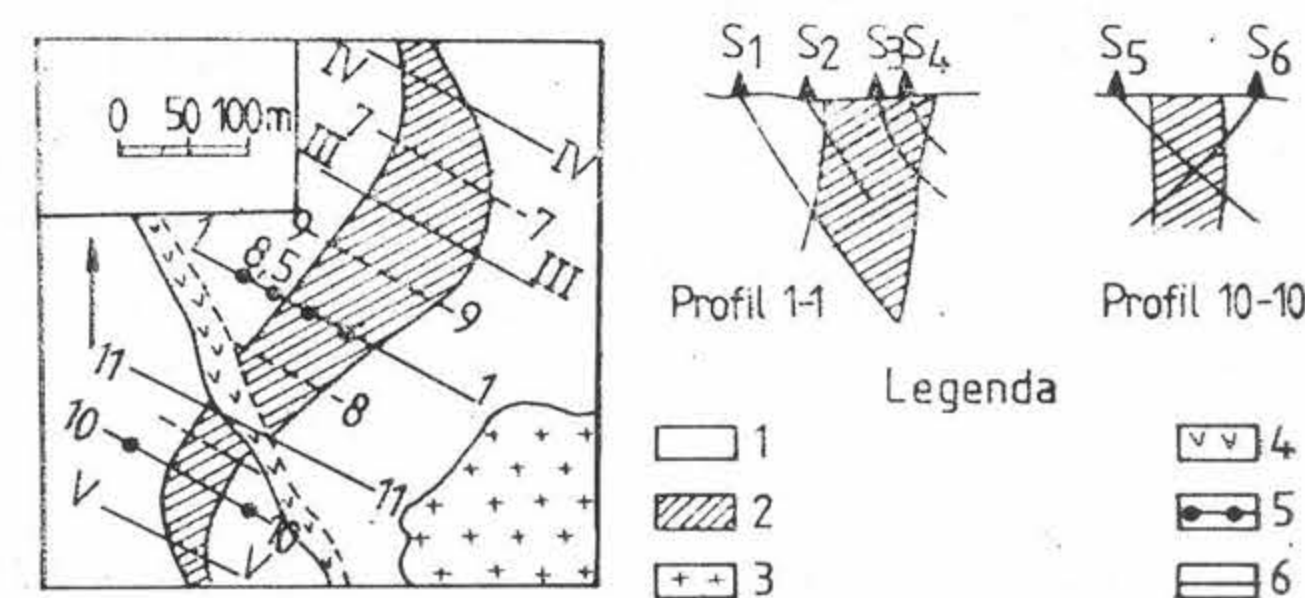


Fig. XI.147. Explorarea unui zăcămint de talc:

1 — roci carbonatice; 2 — roci talcomagneziene; 3 — granite; 4 — porfire;
5 — aliniamente de foraje; 6 — aliniamente de lucrări de explorare (șanțuri, puțuri de mină și foraje).

Pentru serpentinele ce se exploatează prin lucrări la zi, explorarea se face prin foraje și numai talcul și magnezitul se explorează prin lucrări miniere. În cazul zăcămintelor de serpentine extinse în adâncime, explorarea se face prin galerii de coastă și lucrări miniere combinate.

Explorarea de detaliu se face de obicei concomitent cu exploatarea, pe baza studiilor tehnico-economice și de sistematizare a exploatării.

4.3.7. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE DISTEN, ANDALUZIT ȘI SILLIMANIT

Aceste minerale sînt metasilicați de aluminiu și au aceeași compoziție chimică: 63,1% Al_2O_3 și 36,9% SiO_2 .

Distenul apare în roci metamorfice bogate în aluminiu, de regulă în zona de trecere de la gnaise la micașturi cu conținuturi de 3–15% disten; alteori apare sub formă de cuiburi sau agregate de cristale.

Andaluzitul apare la contactul granitelor cu roci metamorfice și în cuarțite, în vecinătatea corindonului. Conținutul de andaluzit în cuarțite este în jur de 18%.

Sillimanitul apare în zona de contact a unor granite cu turmalină, sub formă de lentile sau cuiburi cu conținut pînă la 85%.

În explorarea preliminară pentru **disten** se urmărește conturarea zonelor sau a corpurilor cu conținut de disten, andaluzit și sillimanit. În explorarea preliminară pregătitoare se completează documentația obținută prin cartare și prospecțiune, utilizînd foraje de referință pentru cercetarea adîncimii gnaiselor și variației grosimii micașturilor cu disten. Dacă relieful este accidentat se urmărește variația conținutului de disten prin galerii de coastă.

Explorarea preliminară principală se efectuează printr-o rețea de foraje cu gabarite de la 200 pînă la 1 000 m, cu distanța între aliniamente aleasă după condițiile de teren. Concomitent cu forajele se vor executa galerii de coastă pentru urmărirea conținutului mediu de disten și variației între conținuturile maxime și minime.

Explorarea de detaliu se face concomitent cu exploatarea și trebuie să asigure un volum de rezerve pentru 3–4 ani. Dacă exploatarea se face în carieră, prin explorarea de detaliu se precizează și forma și volumul descoperței, pentru care se execută foraje în rețea la distanțe de 50–200 m.

Zăcămintele de **andaluzit** se explorează în același mod, căutînd să se delimiteze zonele cu conținut mai ridicat față de zonele cu conținut mediu normal.

Această delimitare se face în faza explorării preliminare principale, săpînd galerii direcționale și breșe la distanțe de 25–100 m. Explorarea de detaliu urmărește odată cu obiectivul geologic și deschiderea și pregătirea zăcămintului.

Zăcămintele de **sillimanit** apar sub formă de corpuri și lentile. În explorarea preliminară pregătitoare se urmăresc contactele rocilor granitice și zonele de mineralizare, utilizînd foraje de referință și eventual galerii de coastă.

4.3.8. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE AZBEST ȘI CORINDON

Explorarea zăcămintelor de **azbest** este dificilă. În explorarea preliminară se urmăresc serpentinele și se delimitează diferitele sorturi de serpentine, cu metamorfismul, alterația și accidentele suferite.

Se urmăresc, de asemenea, pegmatitele și în special filoanele de pegmatit sau cuarț care au legătură cu serpentinele.

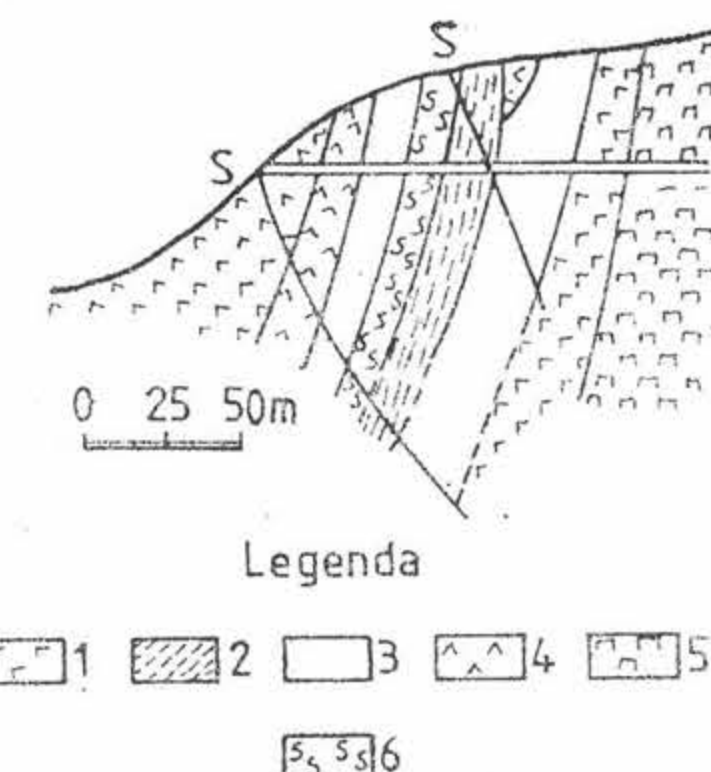
Zonele cu azbest au forme lenticulare sau ramificate. Explorarea preliminară se face cu lucrări miniere (puțuri de mină, galerii de coastă, breșe) și foraje scurte, la diferite nivele, cu distanțe de maximum 50 m (fig. XI.148) pe verticală și 50–200 m pe orizontală.

Corindonul este oxid de aluminiu cristalizat. Apare în roci metamorfice, în zonele de contact cu unele corpuri magmatice.

Zăcămintele de corindon apar sub formă de cuiburi lentiliforme. Explorarea se face după aceleași criterii aplicate, în general, în cercetarea substanțelor ce apar sub formă de corpuri mici sau agregate de cristale de valoare mare.

Fig. XI.148. Explorarea unui zăcămint de azbest prin foraje și galerii:

1 – serpentine; 2 – serpentine mineralizate; 3 – serpentine cu carbonați și tale; 4 – dunite; 5 – peridotite.



Explorarea se începe cu lucrări de suprafață pe baza cărora se execută foraje de referință sau lucrări miniere pentru cercetarea contactelor corpurilor magmatice, a distribuției diferitelor zone de metamorfism, a structurii lor, a fracturilor și aureolelor cu corindon.

4.3.9. EXPLORAREA ROCILOR CARBONATICE (CALCARE, DOLOMITE, MAGNEZITE)

Prin roci carbonatice se înțeleg acele roci care conțin peste 80% carbonați. În constituția lor mineralogică, pe lângă constituenții principali, care sînt carbonatul de calciu și de magneziu, mai conțin carbonați de Fe, Mn, Sr, Ba, Zn etc. Aceste roci au numeroase utilizări în industrie, după proprietățile lor fizico-mecanice și chimice.

Pentru extragerea calcarului din masivele calcaroase, în condiții economice și de calitate corespunzătoare domeniului respectiv de utilizare, este necesar ca aceste zăcămintele să fie explorate pentru a se pune în evidență potențialul cantitativ și calitativ pe sorturi. O atenție în explorare trebuie să se acorde atît descoperței cît și deșeurilor calcaroase, în special sub aspectul posibilităților de folosire în diferite domenii (fabricarea cărămizilor, mozaic, ciment, refacerea solurilor etc.).

În explorarea preliminară, subfaza pregătitoare, se urmărește conturarea masivului de calcare, folosind ca lucrări de explorare șanțuri, puțuri de mină, foraje. Pentru materialele de construcții este necesar să se facă și un studiu structural. Pentru determinarea succesiunii formațiunilor, intruziunilor, intercalațiilor etc., se execută foraje de referință sau galerii.

În explorarea preliminară se verifică ipoteza asupra extinderii și delimitării masivului calcaros, printr-o rețea de foraje la distanța de 200–1 000 m, însoțite de galerii de coastă în cazul unui relief pronunțat. Aliniamentele se orientează perpendicular pe direcția de extindere a masivului (fig. XI.149).

Explorarea de detaliu se face printr-o rețea de foraje sau galerii săpate la distanțe de 50–300 m, executându-se și lucrările de descoperire.

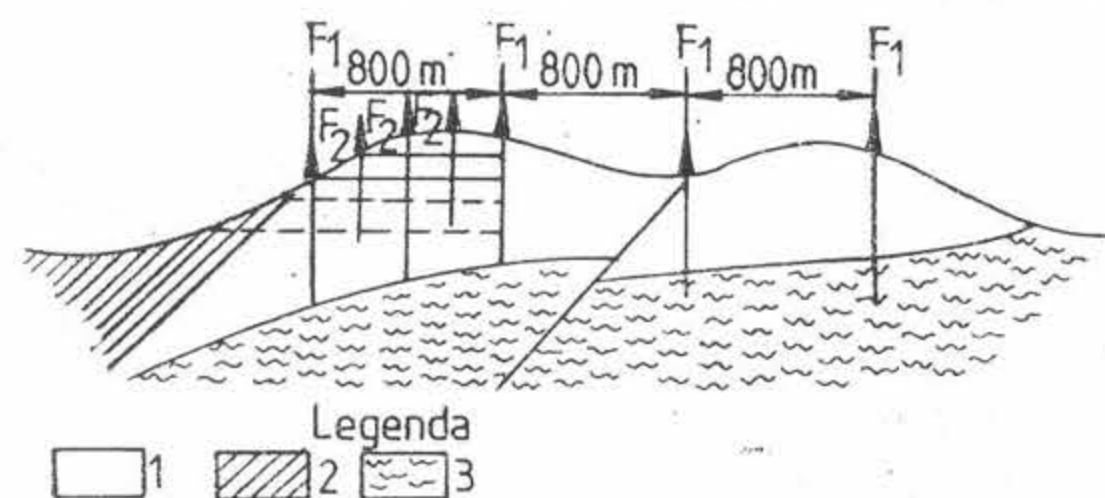


Fig. XI.149. Explorarea preliminară a unui masiv de calcar:

1 — calcar; 2 — sisturi de acoperiș; 3 — sisturi de cuieș;
F1–F2 — foraje de explorare în etapele 1 și 2.

În explorarea calcarelor și dolomitelor prin foraje, o atenție deosebită trebuie acordată tehnologiei de foraj, ținând seama de accidente ce pot surveni ca urmare a fisurării, golurilor carstice etc.

4.3.10. EXPLORAREA SILICAȚILOR ALUMINOȘI

Sub denumirea de silicați aluminosi se cuprind silicații de aluminiu hidratați, cu impurități mai mari sau mai mici. Când conțin oxizi de fier sau au în amestec diferite minerale de siliciu, mică etc., se numesc *argile*.

După domeniile de utilizare se deosebesc șapte sorturi principale de silicați aluminosi: *argilă refractară*, *argilă caolinoasă*, *nisipuri caolinoase*, *bentonite* și *vermiculite*, *argile pentru fluid de foraj*, *roci argiloase de cărămidărie* și *caolinuri*.

Zăcămintele de silicați aluminosi se stabilesc după criteriile de utilizare a acestora.

Explorarea trebuie să se limiteze la delimitarea strictă a sectoarelor corespunzătoare sortului respectiv în care urmează să se facă exploatarea. Din punct de vedere economic prezintă importanță zăcămintele sau zonele ușor accesibile, cu roci acoperitoare subțiri, cu condiții de exploatare la zi și condiții ușoare de haldare.

Explorarea preliminară pregătitoare, prin datele obținute, trebuie să completeze datele prospecțiunii, în scopul stabilirii calităților tehnologice ale silicaților aluminosi să delimiteze sorturile pe baza cercetărilor de laborator și chiar a probelor tehnologice. În acest scop explorarea preliminară pregătitoare se va face prin lucrări ușoare de suprafață, șanțuri, puțuri de mină, foraje scurte și chiar foraje de referință, pentru lămurirea genezei și extinderii sorturilor.

Explorarea preliminară principală are sarcina, în primul rând, de a stabili extinderea sorturilor în zăcămint și variația calității acestora, astfel încât să se poată determina prin calculele tehnico-economice: dinamica producției, dezvoltarea exploatarei și condițiile economice de exploatare. În acest scop se folosesc rețele geometrice cu liniile orientate perpendicular pe direcția de extindere a zăcămintului sau pe direcția

liniilor de nivel a reliefului, cu gabarite ce variază de la 200 la 1 000 m sau mai mici, în zonele cu variații mari ale grosimilor și conținuturilor.

În mod practic se execută la început explorarea pe două aliniamente în cruce, la gabarit de 200–400 m, pentru stabilirea parametrilor principali ai zăcămintului.

Ca lucrări pentru zăcămintele stratiforme se utilizează forajele ușoare executate cu sondeze.

Explorarea de detaliu se execută pentru a stabili gradul de asigurare cu rezerve, pe măsura exploatarei, la capacitățile stabilite prin proiectul de sistematizare al exploatarei. În explorarea de detaliu se utilizează gabarite corespunzătoare programării descoperitei și întocmirii preliminarilor anuale de producție, de obicei cuprinse între 100 și 300 m.

Pentru acest tip de substanțe, explorarea se face în general cu lucrări ușoare și cu volume mici, astfel încât costul lor să nu depășească câteva procente din valoarea substanței minerale, fără să depășească 10%.

4.3.11. EXPLORAREA MARNELOR

Rocile omogene compacte și cu granulație fină, formate din substanță argiloasă și carbonat de calciu în conținuturi cuprinse între 30 și 70% se numesc *marne*.

În explorare se urmărește extinderea stratelor de marne, de delimitare în cuprinsul lor a eventualelor zone silicifiate, intercalațiilor sterile etc. Prin explorarea preliminară pregătitoare se determină conturul zonei ce urmează să fie explorată în continuare, se stabilește distribuția conținutului substanței, caracteristicile stratelor acoperitoare și se va formula ipoteza asupra extinderii zăcămintului.

Explorarea preliminară principală va verifica, prin lucrările corespunzătoare ipoteza asupra structurii generale și asupra formei zăcămintului pentru perimetrul prospectat și eventualele sorturi. Ea se efectuează printr-o rețea de foraje la distanțe de 300 pînă la 1 500 m. După configurația terenului, forajele se înlocuiesc cu galerii de coastă și suitori.

Explorarea de detaliu se continuă în zonele prevăzute a intra în exploatare. Prin lucrările din această etapă se delimitează blocurile de exploatare, zona de descoperire, sorturile de marne și zonele sterile, în vederea întocmirii preliminarilor de producție. În acest scop se execută, de obicei, foraje în rețea, la gabarite cuprinse între 100 și 500 m.

4.3.12. EXPLORAREA ROCILOR SILICIOASE

Sub această denumire sînt cuprinse rocile cu conținut foarte ridicat de silice (peste 90% SiO_2).

Din punctul de vedere al explorării, rocile silicioase se clasifică în trei clase:

- roci silicioase sedimentare detritice (nisipuri, gresii, pietrișuri etc.);
- roci silicioase organogene (diatomite, radiolaritate etc.);
- roci silicioase metamorfice și hidrotermale (cuarțite, calcedonie, opal etc.).

Prin lucrările de explorare se urmărește extinderea zonelor exploatabile și calitatea rocilor respective.

Ca lucrări de explorare preliminară pregătitoare se execută șanțuri, puțuri de mină, foraje manuale, foraje cu sondeze autopurtate și mai rar lucrări miniere grele. Explorarea preliminară trebuie să aibă în vedere obținerea datelor necesare întocmirii studiului tehnico-economic de etapă și proiectului general de sistematizare. Ea se execută în rețea de foraje la gabarite de 300 și 1 000 m sau mai mici pentru zonele cu accidente structurale, variații de conținut etc.

Explorarea de detaliu se efectuează în sectoarele prevăzute pentru exploatare, în vederea asigurării cu rezerve pe 3—5 ani. Ca lucrări se aplică forajele și lucrările miniere sau lucrări combinate.

Probarea se face prin brazde în lucrările miniere și prin carotaj în foraje.

Cuarțitele fac parte din clasa a 3-a a rocilor silicioase metamorfice și se caracterizează prin conținutul lor ridicat în cuarț (de peste 95%) și conținuturi scăzute de Fe_2O_3 (sub 1,5—2%), Al_2O_3 (sub 2%) și CaO (sub 1,5%).

Pentru stabilirea extinderii zăcămintului și a sorturilor se execută lucrări de referință — foraje sau lucrări miniere (galerii de coastă, foraje dirijate subterane). Gabaritele indicate sînt de la 200 pînă la 800 m.

Explorarea de detaliu se face în scopul asigurării cu rezerve pe o durată de obicei de 2—3 ani. În această etapă se folosesc gabarite de 50—500 m.

4.3.13. EXPLORAREA NISIPURILOR ȘI PIETRIȘURILOR (AGREGATELOR)

Sub denumirea de agregate sînt cuprinse nisipurile și pietrișurile folosite la prepararea betoanelor și mortarelor.

Se deosebesc zăcămintele aluvionare, care se exploatează sub nivelul apei, și zăcămintele din depozite situate deasupra nivelului apei.

Explorarea lor preliminară pregătitoare se face cu unul sau două foraje de referință, în scopul de a stabili succesiunea sedimentației și patul aluviunii sau depozitului de agregate. În continuare, pentru valorificarea ipotezei asupra formei și calității substanței, se execută explorarea preliminară principală cu foraje la distanțe de 200—500 m, pe aliniamente perpendiculare pe direcția extinderii zăcămintului, așezate la distanțe de la 500 pînă la 2 000 m. Forajele nu trebuie să depășească patul depozitelor agregate și cel puțin 2/3 din ele nu vor depăși cu mai mult de 1 m nivelul de exploatare.

Pentru zăcămintele aflate deasupra nivelului hidrostatic, în locul forajelor se execută puțuri susținute și bandajate.

Explorarea preliminară principală urmărește obținerea elementelor pe baza cărora să se poată determina rezistența și consistența agregatului uscat, ud și sub apă și posibilitățile de curgere, elemente care stau la baza proiectării exploatarei.

Explorarea de detaliu se execută, pentru perimetrul stabilit a intra în exploatare, prin foraje sau puțuri la distanțe de la 200 pînă la 500 m și cu a dîncimi corespunzătoare pentru determinarea grosimii descoperitei și a stratului exploatabil.

4.3.14. EXPLORAREA ROCILOR DE CONSTRUCȚII

Din această categorie fac parte rocile tari, rezistente la solicitări, alterație, eroziune și pretabile la fasonări.

Acestea se clasifică în:

- roci de calitate superioară, utilizate la învelișuri, ornamente etc.;
- roci de calitate medie, care se modelează grosolan și au o rezistență mare;
- roci utilizate sub formă de sfărîmături, ca materiale de umplutură.

Zăcămintele identificate pe baza cartărilor și a prospecțiunilor se explorează în continuare. În explorarea preliminară pregătitoare se efectuează dezveliri, lucrări de foraje și galerii de referință pentru clarificarea extinderii, constituției sorturilor de rocă, procentului diferitelor sorturi și se determină parametrii calității prin probări tehnologice de laborator.

Explorarea preliminară principală se execută printr-o rețea de foraje cu gabarite de la 300 pînă la 1 500 m, pentru precizarea extinderii zăcămintului și a sorturilor pe care le conține, precum și a variației parametrilor calitativi, elementelor de micro-tehnică și variației clivajelor naturale. Pe baza acestor elemente se întocmește studiul tehnico-economic de etapă și proiectarea exploatarei.

Explorarea de detaliu se efectuează în zonele stabilite pentru exploatare, utilizînd foraje și mai rar lucrări miniere. Prin explorarea de detaliu se stabilește volumul necesar de descoperit sau de derocări pentru înlăturarea zonelor alterate și a sterilului.

XII. PROBAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Ing. FILOMENOS SAVIN
Ing. VIOREL BRÂNDĂ

Explorarea substanței minerale utile permite de cele mai multe ori accesul în zăcămint, oferind atât posibilitatea efectuării de observații directe asupra caracteristicilor corpului, cât și posibilitatea recoltării de probe în vederea determinării caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice ale componentelor valorificării. Probarea este o operație foarte importantă în ceea ce privește luarea unor decizii de valorificare a unei substanțe în ceea ce privește luarea unor decizii de valorificare a unei substanțe minerale utile, oferindu-ne totodată posibilitatea dirijării cât mai corecte și mai eficiente a lucrărilor de cercetare geologică și chiar a exploatării.

Probarea, ca parte importantă a cercetării geologice, furnizează o serie de informații, cum ar fi:

- delimitarea zonelor cu mineralizație bogată;
- delimitarea conturului industrial;
- delimitarea diferitelor sorturi de minereu;
- determinarea conținuturilor în componente utili principali și accesorii valorificabili și a componentelor dăunătoare, în vederea stabilirii condițiilor de valorificare a minereului;

— pentru proiectarea exploatării (mai precis pentru determinarea condițiilor industriale) se poate cunoaște, cu o anumită precizie, comportarea substanțelor minerale utile în diferite faze tehnologice de valorificare etc.

Ca urmare a creșterii necesarului de materii prime minerale din producția internă și a reducerii importului, în etapa actuală trebuie acordată o foarte mare importanță problemei determinării calității substanței minerale utile, problemă care își are rezolvarea în mare parte printr-o probare cât mai corectă și mai sistematică.

1. PRINCIPII DE BAZĂ

1.1. CONDIȚIILE UNEI PROBĂRI CORECTE A ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Probarea, ca parte integrantă a tuturor etapelor de cercetare geologică, cuprinde o serie de faze, cum ar fi:

- recoltarea probelor (prelevarea unei cantități de substanță minerală utilă, care să caracterizeze întreaga cantitate de substanță minerală din care a fost extrasă);
- prelucrarea probelor în funcție de obiectivul urmărit;

- determinarea caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice a materialului probă prelucrat;
- prelucrarea informațiilor obținute în vederea determinării parametrilor de decizie asupra zăcămintului.

În activitatea practică toate fazele menționate mai sus au o deosebită importanță, orice greșală comisă având implicații negative, uneori cu consecințe economice grave, pe tot parcursul cercetării și implicit al valorificării. Pentru evitarea comiterii erorilor, sarcina specialistului este de a veghea în mod direct sau indirect, întreg procesul de probare, respectându-se cu strictețe o serie de condiții privind metodica prelevării probelor, obținerea rezultatelor și interpretarea lor.

1.1.1. OBIECTIVITATEA ȘI REPREZENTATIVITATEA PROBĂRII

Obiectivitatea și reprezentativitatea probării sînt două condiții inseparabile deoarece o probă dacă nu a fost prelevată obiectiv nu poate fi reprezentativă.

Așadar, obiectivitatea trebuie avută în vedere în toate etapele probării, astfel:

- a) În etapa de prelevare trebuie acordată mare atenție în ce privește:
 - metoda de probare, care trebuie să fie aleasă în funcție de tipul de zăcămint și al metodicii de explorare (și nu în mod arbitrar);
 - desimea de probare;
 - mărimea excavațiilor;
 - evitarea contaminării materialului probă (pregătirea locului, captarea materialului excavat, ambalarea materialului, transportul probelor etc.);
 - controlul probării, care trebuie făcut periodic și cu maximum de atenție.
- b) În cazul prelucrării probelor (a doua etapă a probării) trebuie respectate cele patru operații (sfărîmarea, măcinarea, omogenizarea și reducerea materialului probă).
- c) Pentru determinarea caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice trebuie utilizată aparatura de cea mai bună calitate, făcută curățirea aparatului după fiecare probă și folosit personal cu cea mai înaltă specializare și conștiință profesională.
- d) În cazul prelucrării informațiilor obținute trebuie utilizate mai multe metode, verificându-se în acest mod rezultatele și depistarea eventualelor erori comise.

În concluzie, pentru respectarea obiectivității probării trebuie avută o mare atenție, depistându-se la timp toate erorile, indiferent de mărime și trecîndu-se la eliminarea lor.

Reprezentativitatea probării presupune păstrarea proporțiilor între mineralele care formează probă și mineralele din zona probată sau din zona de influență a lucrării de cercetare. Problema păstrării reprezentativității se pare simplă în cazul zăcămintelor cu un grad mare de uniformitate a componentelor utili, dar ea trebuie rezolvată și pentru zăcămintele cu grad mic de uniformitate sau foarte neuniforme, deci, cu alte cuvinte, în asemenea situații trebuie rezolvate două probleme principiale: 1) *distanța optimă între probe* și 2) *greutatea optimă a probei*.

Din practică rezultă că probarea este cu atât mai reprezentativă cu cât intervalul dintre probe este mai mic (Albov M. H., 1965), dar acest interval nu se poate micșora foarte mult din cauza economicității și a posibilității de probare (lucrare minieră sau foraj). Totuși problema pare a fi rezolvată, luîndu-se în considerare eroarea admisă de practică pentru diferite clase de zăcămintele.

În ce privește greutatea optimă a probei, trebuie avut în vedere faptul că, ori de câte ori avem de-a face cu mineralizații variabile în componenți utili, este necesar să se determine experimental cantitatea optimă de material probă, în așa fel încât să nu se depășească erorile admise de fiecare clasă de zăcămintele.

O situație aparte apare în cazul zăcămintelor fără o limită netă între roca mineralizată și roca înconjurătoare, situație în care reprezentativitatea este respectată prin calcularea conținutului limită de conturare, conținutului mediu minim și conținutului mediu pe bloc marginal.

În concluzie, trebuie acordată o foarte mare atenție reprezentativității probei, avându-se în vedere următoarele: 1) cantitatea care reprezintă mineralizația este foarte mică în comparație cu masa mare a corpului; 2) rezultatele probării se iau în considerare în vederea luării unor decizii privind valorificarea zăcămintului.

1.1.2. OPERATIVITATEA ȘI PRODUCTIVITATEA PROBĂRII

Operativitatea și productivitatea probării reprezintă o condiție care trebuie avută în vedere în toate etapele cercetării geologice și mai ales în cazul explorării, deoarece explorarea presupune un număr mare de utilaje și un mare efort financiar. Astfel, operativitatea permite continuarea sau sistarea unor lucrări în etapa de explorare preliminară sau luarea în timp util a unor decizii de a se trece la întocmirea proiectelor de exploatare (în etapa de detaliu), ba mai mult, în cazul zăcămintelor diseminate operativitatea analizelor de laborator conduce la delimitarea resurselor valorificabile la un moment dat.

Productivitatea ridicată rezultă atât printr-o operativitate mare cât și prin folosirea unei metode cât mai productive în cazul aceluiași tip de zăcămint (așa de exemplu, probarea prin găuri de mină sau prin carotaj mecanic influențează productivitatea procesului de probare), alături de organizarea cât mai bună a procesului tehnologic de prelucrare a probelor, alegerea aparaturii corespunzătoare și folosirea unui personal cu înaltă calificare.

Operativitatea și productivitatea probării influențează în mod direct eficiența economică a explorării în general și a probării în special, iar obiectivitatea și reprezentativitatea influențează în mod direct, conducând astfel la obținerea unei informații cât mai apropiate de realitate, deci, implicit, luarea unor decizii cât mai sigure de realizare a unei eficiențe cât mai mari a cercetării geologice și la sporirea necesarului de materii prime minerale pe economie.

2. TIPURILE PRINCIPALE DE PROBARE UTILIZATE ÎN LUCRĂRILE DE EXPLORARE

Lucrările de explorare ne permit accesul în mod direct la zăcămint (sub baza de eroziune), oferind posibilitatea aplicării unui număr cât mai mare de tipuri de probare, iar alegerea unuia sau a altui tip de probare este în funcție de condițiile concrete existente la un moment dat.

2.1. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR MINERALOGICE (PROBAREA MINERALOGICĂ)

Probarea pentru determinarea caracteristicilor mineralogice se aplică în toate etapele explorării geologice, dar cu precădere în explorarea preliminară, urmărindu-se în principal următoarele aspecte:

- stabilirea compoziției mineralogice;
- repartitia spațială în cadrul corpului de substanță minerală utilă a componentelor mineralogici;
- determinarea compoziției mineralogice cantitative a substanței minerale utile, și apoi determinarea compoziției chimice, lucru care oferă posibilitatea, în unele situații, să se renunțe la probarea chimică;
- stabilirea proprietăților fizice ale mineralelor (duritate, clivaj, friabilitate, proprietăți magnetice, conductibilitate electrică etc.);
- determinarea unor caracteristici necesare stabilirii fluxului tehnologic (grad de concreștere a mineralelor, mărimea granulelor minerale, legătura între mineralele principale și mineralele accesorii etc.);
- stabilirea unor parageneze care pot face obiectul unei exploatare separate (selective);
- stabilirea unor zone sterile sau chiar stabilirea limitei industriale a corpului de substanțe minerale utile etc.

Probarea mineralogică se poate aplica pentru toate tipurile de lucrări miniere.

Din cadrul metodelor de probare mineralogică cele mai utilizate sînt: *metoda eșantionării*, *metoda sorturilor de minereu* și *metoda bazată pe separări gravitaționale*.

Metoda eșantionării se aplică în cazul zăcămintelor de formă tabulară consolidate și constă în prelevarea de eșantioane (probe) de dimensiuni mici (de pînă la 3–4 dm), după direcția de măsurare a grosimii normale a corpului mineralizat în lucrarea de explorare, fiecare eșantion reprezentînd o probă (elementară) care urmează să fie studiată separat.

Studierea eșantioanelor se face pe baza proprietăților fizice și optice a mineralelor componente, iar studiul acestor proprietăți conduce în final la indicații prețioase cu privire la posibilitățile de valorificare a substanțelor minerale utile.

Caracteristicile calitative (conținutul în componenți mineralogici) se determină cu lupa binoculară sau cu microscopul, urmărindu-se mai multe etape, după cum urmează:

- realizarea unei suprafețe lustruite pe partea reprezentativă a eșantionului, suprafață care trebuie să cuprindă variația maximă a componentelor mineralogici;
- pe suprafața lustruită astfel obținută se așază o sticlă gravată în pătrățele de 25 mm² (sticla avînd formă dreptunghiulară);
- cu ajutorul acestei sticle, sub lupa binoculară (care mărește de 8–10 ori) se planimetrează suprafața (s_i) ocupată de fiecare mineral pe toată suprafața eșantionului;
- se consideră că mineralele din cadrul eșantionului se extind pe aceeași grosime și cu densitatea δ_i ;

— în continuare se determină conținuturile mineralogice (c_j) pentru fiecare tip de mineral j , aplicând succesiv relația:

$$c_j = \frac{s_j \delta_j}{\sum_{i=1}^n s_i \delta_i} \cdot 100 \quad [\%]$$

n fiind numărul de minerale componente; mărind gradul de aproximare se poate înlocui suprafața s cu numărul de ochiuri (pătrățele);
— de la conținutul în mineral se poate trece la conținutul în component util (c_u), luându-se în considerare conținutul teoretic (c_{tj}) al mineralului respectiv și utilizând următoarea formulă

$$c_u = \frac{c_j \cdot c_{tj}}{100} \quad [\%]$$

— în continuare se repetă procedeul pentru fiecare eșantion și pentru toți componenții utili, iar rezultatele sînt comparabile cu ale probării chimice;
— conținuturile medii de minerale utile (\bar{c}_m) pe fiecare loc de probare se determină cu formula:

$$\bar{c}_m = \frac{\sum_{k=1}^e c_{mk} \cdot S_k}{\sum_{k=1}^e S_k} \quad [\%]$$

în care: $m = 1, 2, \dots, r$ reprezintă numărul de componenți mineralogici, $k = 1, 2, 3, \dots, e$ eșantioane, S_k — suprafața șlefuită a eșantionului k ;
— conținutul mediu (\bar{c}) în componenți utili se determină cu formula:

$$\bar{c} = \frac{\bar{c}_m \cdot S_{tj}}{100} \quad [\%], \text{ sau } [g/t] \text{ pentru metale prețioase.}$$

Metoda prezentată permite, de asemenea, punerea în evidență a variației componenților utili în locul de probare, iar dacă nu se urmărește acest lucru (avem mineralizație omogenă), pentru determinarea conținuturilor în minerale sau în componenți utili se însumează suprafața ocupată de fiecare mineral util pe toate eșantioanele de probare (sau numărul de ochiuri) care urmează să fie înmulțite cu densitatea minereleor respective.

În cazul mineralizațiilor de impregnație, folosirea acestui procedeu conduce la conturarea corpurilor, la dirijarea lucrărilor de explorare sau chiar de exploatare, deoarece procedeul este destul de simplu și rapid, conducind în același timp și la reducerea considerabilă a investiției specifice.

Metoda sorturilor de minereu se aplică în cazul zăcămintelor unde se pot individualiza (din punct de vedere mineralogic și chimic) tipuri de minereu, indiferent dacă acestea se pot extrage în mod separat sau nu în timpul exploatarei. Mai precis, domeniul de aplicare a metodei are extindere asupra zăcămintelor de formă tabulară, în

care distribuția zonală a mineralizației variază în special după grosimea normulă și asupra zăcămintelor sub formă de stockwerk (metasomatică), unde pot apărea zone de concentrații mari sau mici de formă concentrică.

La aplicarea metodei, de regulă, se urmăresc mai multe etape cum sînt:

- cartarea geologică detaliată a locului de probare (tavanul galeriei, perete sau front), scara 1: 100, 1: 50, 1: 20, cu delimitarea cât mai corectă a sorturilor de minereu;
- determinarea conținuturilor medii în componenți utili pe tipuri de minereu, determinare care se face pe probe chimice sau mineralogice;
- determinarea masei volumetrice pe fiecare tip de minereu;
- calculul conținuturilor medii pe tipuri de minereu, cu relațiile:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{c}_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad [\%], \text{ pentru corpurile sub formă tabulară și}$$

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{c}_i \cdot s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad [\%], \text{ pentru corpurile sub formă de stock,}$$

în care:

\bar{c} este conținutul mediu într-un anumit element sau mineral util; \bar{c}_i — conținutul mediu în element sau mineral a tipului de minereu i ; g_i — grosimea tipului de minereu i ; s_i — suprafața tipului de minereu i ; n — numărul tipurilor de minereuri diferențiate.

În cazul în care tipurile de minereu au mase volumetrice net diferențiate, atunci în relațiile de mai sus se ponderează și cu masa volumetrică.

Grosimile g_i și suprafețele s_i se măsoară pe planșă, ținându-se seama de scara de cartare, iar măsurătorile se fac la echidistanțe stabilite în mod experimental.

Rezultatele obținute în acest mod au un caracter informativ, iar metoda se aplică numai în cazul explorării cu lucrări miniere. Totuși, metoda în sine se caracterizează prin operativitate și economicitate ridicată, deoarece nu presupune recoltarea de probe geologice.

Metoda bazată pe separări gravitaționale se aplică în cazul explorării zăcămintelor de substanțe minerale utile aluvionare, în care separarea minereleor utile de cele de gangă se poate face în mod gravitațional.

Etapele probării:

- recoltarea materialului probă (prelevarea probei) se face:
 - din lucrări miniere (puțuri de mină și galerii);
 - prin dragaj (în cazul zăcămintelor situate sub apă);
 - din foraje;
- dezagregarea, care presupune desfacerea materialului probă în particule monominerale;
- spălarea probei, operație în care mineralele cu densitate mare (utile) sînt reținute, iar cele cu densitate mică sînt eliminate;

- separarea, care se face cu căușul sau șaitrocul cu apă mai puțină, iar identificarea elementelor utile se face după culoare;
 - uscarea se realizează în vase metalice speciale sau chiar în căuș;
 - determinarea conținutului în minerale grele, care se face prin cântărire.
- Metoda este simplă, de un caracter informativ, ceea ce face să fie folosită în primele etape ale explorării sau chiar și în etapa de detaliu, pentru dirijarea lucrărilor.

2.2. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR CHIMICE

Acest tip de probare este necesar în oricare dintre etapele de cercetare geologică, urmărindu-se, în cazul zăcămintelor metalifere, determinarea componentilor utili și dăunători, iar în cazul zăcămintelor nemetalifere și a rocilor utile, prin acest tip de probare se urmărește și determinarea altor caracteristici.

Dintre metodele cele mai utilizate în practică sînt prezentate în continuare cele mai importante din punct de vedere al aplicabilității.

Probarea substanței minerale utile prin brazde are o foarte mare aplicabilitate în toate fazele de cercetare geologică și constă în realizarea unei excavații — pe tavanul, frontul sau unul din pereții lucrării miniere — de forma unei prisme drepte (dreptunghiulare sau triunghiulare), iar materialul rezultat reprezintă proba.

La prelevarea unei brazde trebuie să se țină seama de o serie de factori cum ar fi:

- lungimea brazdei (axa mare) să fie orientată după direcția de variație maximă a mineralizației (de regulă după grosimea normală sau aparentă a corpului);
- de regulă, probele se iau după întreaga grosime de variație a substanței minerale utile și numai în cazul unei omogenități foarte mari se admit abateri de la această regulă;
- se vor menține aceleași dimensiuni ale brazdelor pe toată porțiunea de prelevare;
- desimea probelor trebuie să mențină caracterul reprezentativ al probării;
- locurile de probare se pregătesc în așa fel încît să se evite contaminarea probelor;
- dimensiunile excavațiilor (brazdelor) se aleg în funcție de gradul de neuniformitate al mineralizației și de tăria rocilor etc.

Mărimea secțiunii transversale se ia, de regulă, invers proporțională cu gradul de uniformitate a distribuției componentilor utili din cadrul mineralizației. Duritatea influențează în cea mai mare parte mijloacele de prelevare și costul operației de probare. În practică se recoltează probe cu dimensiuni transversale de 100×50 mm sau de 100×30 mm, 100 mm reprezentînd lățimea brazdei, iar 50 mm respectiv 30 mm adîncimea. Aceste dimensiuni nu se respectă întotdeauna deoarece există o serie de situații concrete cînd ele variază pentru păstrarea caracterului reprezentativ al probării; astfel în cazul mineralizațiilor foarte neuniforme, dimensiunile se iau în funcție de greutatea minimă admisă a materialului care constituie proba (pe unele porțiuni ale corpului, unde variația componentilor utili este mare, probele trebuie să aibă dimensiuni mari și invers), iar pentru mineralizații cu variații mici brazdele pot avea dimensiuni mai mici decît cele prezentate.

Lungimea brazdelor se alege în funcție de grosimea corpului și de caracterul mineralizației. Pentru corpuri cu grosime de pînă la 1,20 m se recoltează o singură

probă în locul respectiv, iar dacă grosimea corpului este cuprinsă între 1,20 și 2,00 se pot lua:

- o singură probă (mineralizație omogenă);
- două probe egale (mineralizație mai puțin omogenă);
- mai multe probe, fiecare avînd lungimea egală cu grosimea unui tip de minereu.

În cazul corpurilor de grosime mare (> 2 m) lungimea probei poate fi ≥ 1 m, în funcție de omogenitatea mineralizației. Secționarea probelor urmărește în principal probarea selectivă a tipurilor de minereu, care s-ar putea extrage în mod separat în procesul exploatării. Pentru mineralizații omogene și foarte omogene lungimea probelor poate fi foarte mare (o probă poate fi chiar pe toată grosimea corpului), realizîndu-se astfel o eficiență mai mare a procesului de probare. Un caz cu totul aparte îl constituie corpurile de dimensiuni mari care nu au limite nete cu roca înconjurătoare, cînd spre limita presupusă se recomandă probarea prin brazde cu lungime de circa 1 m, deoarece limita corpului se stabilește pe baza analizelor chimice.

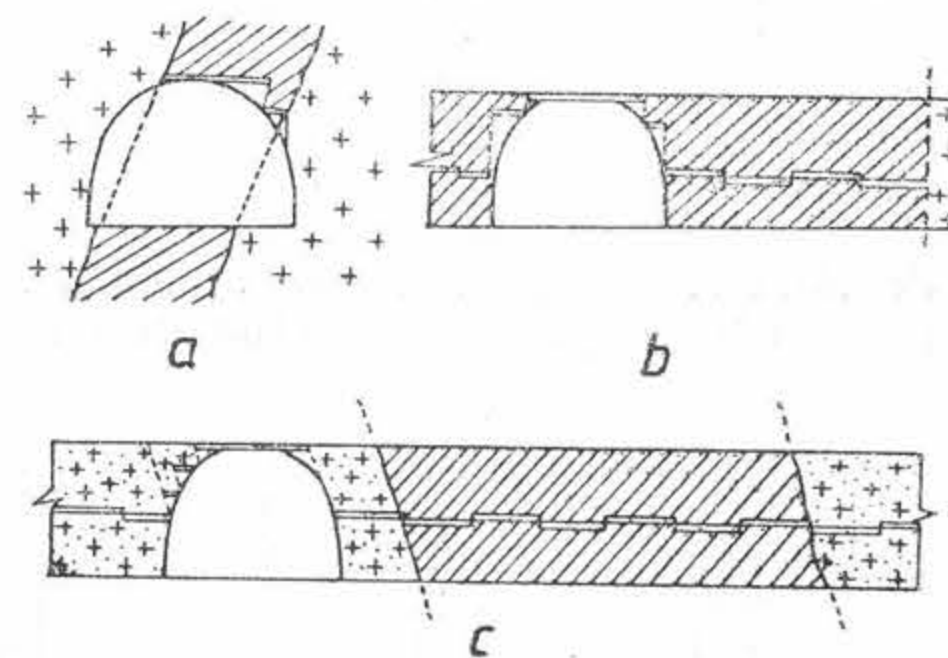
În concluzie, pentru corpuri de substanțe minerale utile de dimensiuni mari se recomandă ca probele să aibă lungime cît mai mare, fără a se afecta caracterul reprezentativ, realizîndu-se un număr cît mai mic de analize chimice și deci implicit o probare cît mai economică, iar secționarea probelor se va face numai în cazul în care situația concretă impune acest lucru.

Prelevarea probelor prin brazde presupune trei operații principale: *pregătirea locului de probare, marcarea probelor și extragerea propriu-zisă.*

— *Pregătirea locului* se impune pentru evitarea contaminării probei, deoarece, de regulă, probele se recoltează pe măsură ce se sapă lucrarea minieră și înainte de susținere. În cazul lucrărilor miniere, în urma exploziei de înaintare și după evacuarea materialului derocat, locul de probare prezintă două caracteristici care trebuie înlăturate, astfel: suprafața are o serie de neregularități (în special tavanul galeriei) și în același timp este acoperită cu praf care ar conduce la contaminarea materialului probă (deoarece praful provine din alte locuri decît cel de probare). Dacă s-ar proba o suprafață cu neregularități, lungimea probei ar fi mai mare decît grosimea corpului

Fig. XII.1. Modul de pregătire a locului de prelevare a probelor în cazul galeriilor direcționale:

a — zăcămintă de grosime mică și înclinare mare; b — zăcămintă de grosime mare, cu limite verticale; c — zăcămintă de grosime mare cu limite înclinate.



ba mai mult, în cazul mineralizațiilor rubanate, în materialul probă s-ar introduce o cantitate mai mare decît cea reprezentativă. Pentru a evita o asemenea situație se urmărește ca suprafața de probare să fie cît mai plană, realizîndu-se acest lucru prin lucrări de nivelare (fără a se schimba locul de prelevare a probei), iar în cazul în care profilul galeriei este curbat se fac o serie de trepte ajutătoare (fig. XII.1), astfel încît proba să se recolteze tot după plane drepte.

În cazul în care se probează galerii vechi, locul de probare se curăță prin înlăturarea întregii cantități de mineralizație oxidată.

După nivelarea suprafeței de probare, pentru înlăturarea particulelor de praf se spală locul cu jet puternic de apă, după care se lasă să se usuce.

— *Marcarea brazdelor*, este cea de a doua operație ce urmează după uscarea locului de probare și care se face cu vopsea, cu fum de la lampa cu carbid sau cu cretă, iar numărul probei se marchează întotdeauna cu vopsea, pentru a se menține cât mai mult (fig. XII.2). După susținerea porțiunii de galerie, numărul probei se marchează pe armături prin tăblițe sau chiar direct cu vopsea pe armătura de lemn sau de beton.

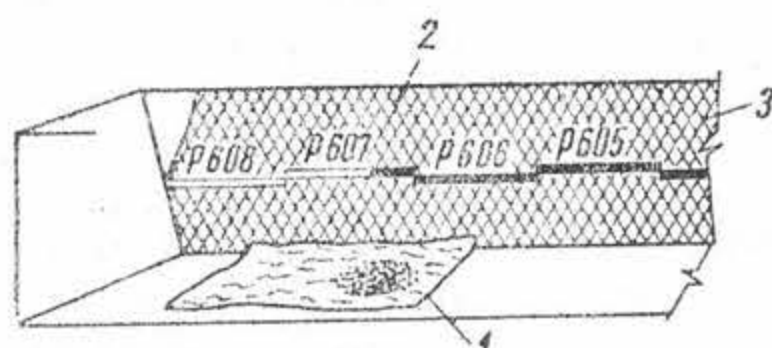


Fig. XII.2. Marcarea locului de prelevare a probelor și modul de așezare a prelatei pentru colectarea materialului probei în cazul probării manuale:

1 — prelată; 2 — nișă (galerie transversală scurtă); 3 — corp de substanță minerală utilă.

— *Extragerea propriu-zisă* a materialului probă se poate face manual sau mecanic. În cazul în care prelevarea probei se face manual, sub locul de prelevare se așază o prelată curată pentru a se putea colecta tot materialul derocat și pentru a evita contaminarea probei (fig. XII.2). După recoltarea unei probe prelată se curăță bine pentru evitarea contaminării probei următoare.

Când prelevarea se face mecanizat, dispozitivul de recoltare este prevăzut cu anexe de recoltare a materialului probă direct în săculeț, dar cum în România nu s-au generalizat încă asemenea dispozitive, trebuie acordată o foarte mare atenție recoltării manuale.

Extragerea manuală a probei brazdă se face cu o serie de unelte, în funcție de tăria substanței minerale utile. Astfel, pentru mineralizații cu duritate mică se poate folosi toporul-teslă. Când duritatea este mai mare și foarte mare se folosește

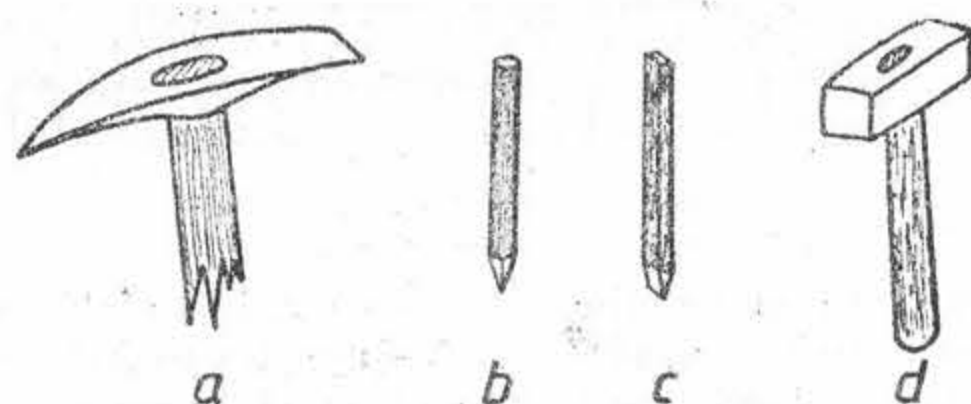


Fig. XII.3. Unelte pentru extragerea manuală a probelor brazdă:

a — topor teslă; b — țâncuș; c — dalta; d — fistău.

dalta, țâncușul (șpițul) și fistăul (fig. XII.3). Oțelul din care sînt confecționate aceste unelte trebuie să fie de calitate foarte bună. De aceea ele se confecționează, de regulă, din capete rămase de la sfredelele de perforare a găurilor de mină.

Modul de prelevare a probei constă în realizarea unui șanț pe conturul marcat (fig. XII.4), șanț care se poate realiza cu unelte menționate mai sus sau mecanizat prin tăiere cu discuri acționate hidraulic sau electric (în funcție de condițiile de lucru).

După realizarea șanțului de contur urmează extragerea propriu-zisă a probei care se face cu dalta, țircușul sau chiar cu toporul-teslă, în funcție de duritatea materialului care urmează a se proba.

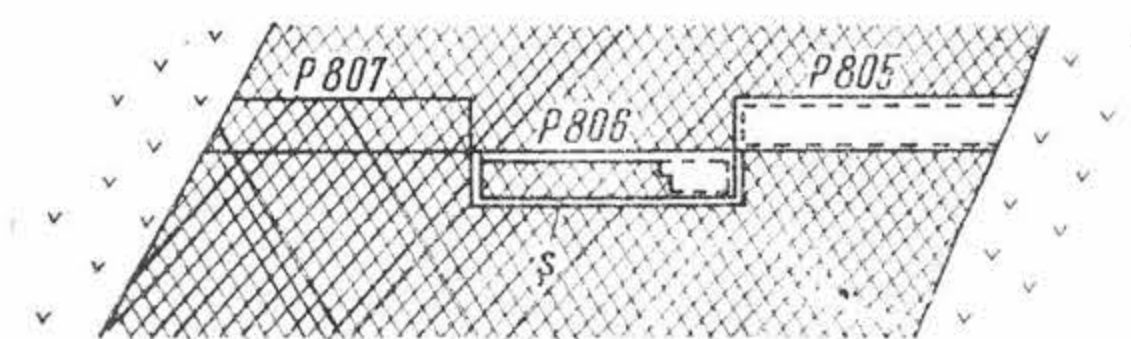


Fig. XII.4. Modul de extragere a probei brazdă:

s — șanț; P805 — probă prelevată; P806 — probă în curs de prelevare; P807 — probă marcată pentru prelevare.

Înainte de începerea extragerii probei se fixează prelată cu suprafața de 2—3 m², în funcție de condițiile de lucru, astfel: în cazul galeriilor se poate așeza pe vatră când locul respectiv este uscat, sau ridicată pe o capră de lemn sau de metal, în cazul locurilor umede; aceleași situații se pot întâlni și în cazul coborîtorilor; în cazul suitorilor prelată se fixează pe poduri.

Se recomandă ca prelată să fie spălată și foarte bine curățată după recoltarea fiecărei probe, deși acest lucru presupune un număr mare de prelate care să fie folosite. Pentru evitarea acestui inconvenient, deasupra prelatei se poate așeza o folie de plastic, care se poate curăța foarte ușor; de asemenea, se pot utiliza prelate cauciucate sau confecționate din fibre sintetice, ce nu rețin în țesătură mineralele fine, care ar contamina proba următoare. Tot pentru a mări productivitatea probării se pot confecționa jgheaburi de tablă care au avantajul curățirii foarte rapide.

După dislocarea materialului probă din locul de probare, urmează trecerea acestuia în săculeți care au diferite dimensiuni, în funcție de volumul probei (15×20; 20×40 cm), care sînt confecționați din material rezistent. Pentru a putea fi folosiți cât mai mult timp și pentru a nu se contamina proba, s-a trecut la confecționarea de săculeți cu căptușeală din plastic sau chiar săculeți cauciucați. Săculeții obișnuiți (din țesătură de in, de bumbac sau de cinepă) după fiecare utilizare se spală bine și se usucă, după care se întorc pe partea cealaltă.

Fiecare probă este însoțită de *actul de identitate*, act care constă din două etichete ce trebuie să cuprindă: numărul probei, locul, data, numele și prenumele probatorului care a prelevat-o. Prima etichetă se pune în interiorul săculețului; dar cum de cele mai multe ori materialul probei este umed, pentru a se evita deteriorarea ei, eticheta se ambalează în folii de plastic sau se pune în tuburi care oferă etanșitatea. A doua etichetă poate fi din lemn sau din tablă și se atașează la sfoara cu care se leagă săculețul.

Legarea săculeților trebuie făcută cu foarte mare atenție, pentru a se evita risipirea materialului probă în timpul transportului din lucrarea minieră la suprafață și de la șantier la laboratorul de analize chimice. Ea se face prin două locuri: prima dată se strînge gura săculețului și se leagă, după care se răsucește porțiunea fără material și se nu leagă cu aceeași sfoară cit mai aproape de material.

Pentru mineralizații cu omogenitate mare, omogenitate verificată, se pot înlocui brazdele menționate mai sus prin *probarea punctiformă* care, în final, conduce tot la o excavație sub formă de brazdă.

Această metodă constă în desprinderea de bucăți de dimensiuni de pînă la 3–5 cm, una de lîngă alta, din corpul de substanță minerală utilă (fig. XII.5). Acest mod de prelevare nu necesită prelată sau dispozitiv de colectare, iar timpul de prelevare a unei probe se reduce simțitor.

Aplicarea metodei necesită o verificare prealabilă prin brazde obișnuite și, în funcție de rezultate, se poate trece la aplicarea ei și pentru alte porțiuni de zăcămint.

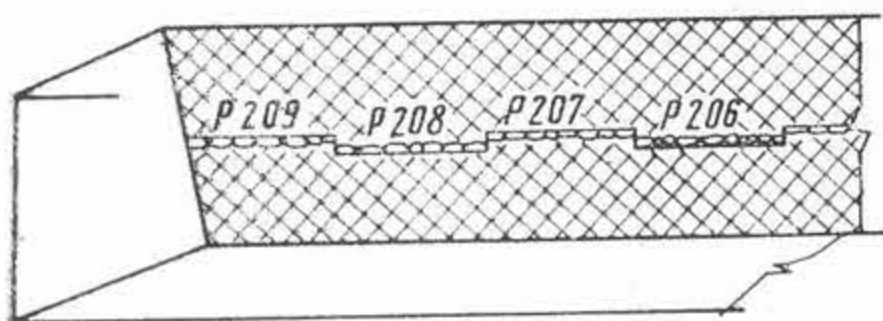


Fig. XII.5. Modul de dispunere a punctelor în probarea prin brazde punctiforme:

P 206... P 209 — probe brazdă punctiformă.

Prelevarea manuală a probelor brazdă este o operație care necesită, în cazul substanței minerale utile cu duritate mare, un volum mare de muncă, deci un cost destul de ridicat și un volum mare de timp (operativitate scăzută), care are influență mare asupra procesului de explorare, prin faptul că dirijarea lucrărilor de explorare se face foarte încet, în special în cazul zăcămintelor diseminat.

În cazul mineralizațiilor cu duritate scăzută, prelevarea manuală dă rezultate foarte bune deoarece sporește gradul de reprezentativitate.

Pentru mineralizațiile cu duritate ridicată la care se aplică metoda brazdelor, s-a impus mecanizarea procesului de extragere a probei, în acest sens făcîndu-se o serie de încercări cu rezultate bune. Dintre dispozitivele utilizate se menționează:

— dispozitivul mecanic realizat în U.R.S.S. de Institutul Unional pentru Tehnica Explorării (V.I.T.R.), care constă din atașarea la ciocanul de abataj a unei piese în formă de „U” cu dinți de tăiere;

— dispozitivul de tăiere a șanțurilor de contur a probei cu discuri cu inserții de diamante, extragerea probei din interiorul conturului făcîndu-se tot manual;

— dispozitivele I.P. — 6401 și I.E. 6404 care au caracteristici asemănătoare cu cel de mai sus, primul fiind cu acționare pneumatică, iar cel de al doilea cu acționare electrică etc.

Dispozitivele menționate mai sus nu se aplică în România, lucru pentru care nici nu se va insista asupra descrierilor și a caracteristicilor tehnice.

În România s-au făcut și continuă să se facă o serie de eforturi pentru rezolvarea problemei. Astfel, un colectiv de la I.P.E.G. Suceava — Cîmpulung Moldovenesc a realizat un dispozitiv pentru prelevarea mecanizată a probelor brazdă, dispozitiv care se află în curs de omologare și brevetare ca invenție la O.S.I.M.

Probarea substanței minerale utile prin brazde răzuite. Această metodă de probare este o variantă a metodei brazdelor și are următoarele caracteristici:

— lățimea brazdelor este mai mare de circa 10–20 ori, iar adîncimea este cuprinsă între 5–10 cm;

— în cazul mineralizațiilor foarte neomogene răzuirea se face pe toată suprafața deschisă a zăcămintului;

— masa excavată este mult mai mare;

— se aplică în cazul mineralizațiilor cu valoare economică mare (ex. mineralizații cu metale nobile și rare);

— se poate utiliza și în cazul controlului probării;

— are domeniu de aplicare destul de limitat, ca urmare a costului ridicat;

— se aplică în urma unei cercetări experimentale și cînd este mai avantajoasă decît metoda brazdelor obișnuite etc.

Asemănarea cu metoda brazdelor obișnuite este mare și constă în faptul că:

— extragerea probei se face prin aceleași metode, iar denumirea a fost dată ca urmare a suprafeței mari de recoltare;

— la prelevare se execută aceleași operații ca și în cazul brazdelor.

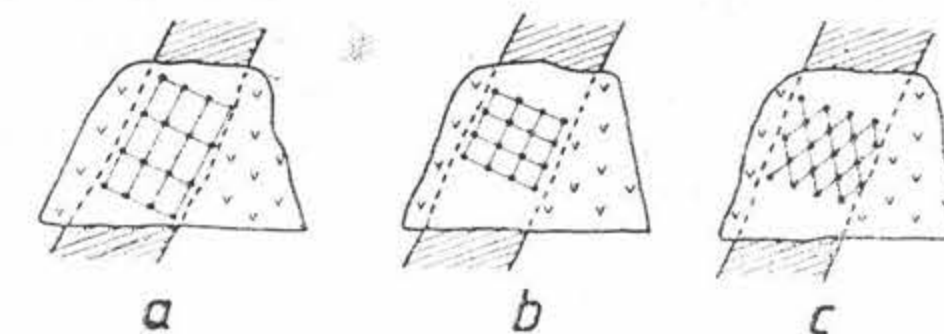
Rezultatele obținute sînt mult mai precise dacă se respectă toate condițiile metodologice de probare, iar pentru a se menține caracterul reprezentativ trebuie menținută adîncimea de probare constantă.

Metoda de probare prin răzuire se poate aplica la toate tipurile de lucrări miniere, la fel ca și metoda precedentă, cu unele caracteristici asupra cărora se va insista în capitolul următor.

Probarea substanței minerale utile prin metoda punctelor. În cazul acestei metode, proba constă în comasarea probelor parțiale care se iau din nodurile unei rețele de formă dreptunghiulară, pătratică sau rombică (fig. XII.6), rețeaua alegîndu-se în funcție de gradul de rubanare a mineralizației.

Fig. XII.6. Modul de repartitie a punctelor:

a — rețea dreptunghiulară; b — rețea pătratică; c — rețea rombică.



Metoda este operațională și cuprinde următoarele etape:

— pregătirea locului de probare, care se face la fel ca și în cazul metodei brazdelor;

— marcarea rețelei de probare cu cretă, vopsea sau fum de la lampa cu carbid;

— prelevarea probei, care se face în funcție de duritatea rocilor, cu țincușul, dalta și fistăul în roci cu duritate mare, cu ciocanul geologic în cazul rocilor cu duritate mică, iar în ultimul timp prin găuri de mină;

— colectarea materialului din probele parțiale, material care este de 10–15 g, și comasarea lui în săculeți sau recipiente (pentru găurile de mină). Numărul de probe se stabilește prin încercări și comparînd rezultatele cu altă metodă (brazde sau brazde răzuite) pe aceeași suprafață de probare. Din practică se știe că cu cît numărul de probe parțiale este mai mare cu atît reprezentativitatea este mai bună și invers.

Metoda de probare prin puncte se poate aplica la toate corpurile cu mineralizații omogene: corpuri cu mineralizații masive — metasomatice, de impregnație sau cu variații mici ale mineralizației (este cazul mineralizațiilor de fier, mangan etc.), a corpurilor de cărbuni, roci utile etc.

Se recomandă în aplicarea rocilor cu duritate mare, deoarece este mult mai economică și mai operativă decît celelalte metode.

Probarea substanței minerale utile prin ștufe (eșantioane). Constă în prelevarea manuală sau mecanică a unor bucăți (eșantioane) de mineralizație, de masă cuprinsă între 0,5 și 2 kg. Proba poate fi constituită din una sau mai multe ștufe, în funcție de gradul de neuniformitate a componentilor utili; în cazul mineralizației cu textură paralelă se ia câte un eșantion din fiecare bandă mineralizată, în așa fel încât după prelevarea tuturor ștufelor să se obțină o probă reprezentativă.

Probele astfel recoltate pot fi cercetate sub mai multe aspecte, astfel: mineralogic, petrografic, din punct de vedere al indicatorilor calitativi — pentru roci utile, chimic și chiar tehnologic în fază de laborator. Când se analizează chimic au mai mult un caracter informativ, de orientare a lucrărilor de cercetare; din acest motiv se aplică mai mult după ce ne-am convins de gradul de omogenitate (deci, dacă se poate aplica sau nu) prin alte metode de probare.

Aplicarea acestei metode este destul de limitată deoarece are un caracter subiectiv, conducând în final la erori mari.

Probarea substanței minerale utile prin găuri de mină. În cadrul acestei metode intră, în special, găurile de mină care se execută în scopul înaintării lucrării miniere respective, iar dacă nu sînt asemenea situații se pot executa și găuri speciale.

Această metodă rezolvă o serie de probleme cum ar fi:

- mecanizarea;
- operativitatea;
- economicitatea etc.

Materialul probă are o granulație fină, este uscat sau umed și reprezintă numai partea săpată în corpul de substanță minerală utilă și nu săpată și în roca sterilă.

Reprezentativitatea probării nu este întotdeauna îndeplinită, ca urmare a nereșolvării în totalitate a problemei captării materialului probă, ceea ce face să fie recomandată numai în cazuri complet argumentate.

Avantajele metodei sînt:

— grad mare de reprezentativitate (ca urmare a păstrării aceleiași dimensiuni în cazul găurii de mină) în cazul corpurilor cu mineralizație omogenă sau foarte omogenă;

— dacă posibilitatea detectării și conturării de corpuri de substanțe minerale utile neinterceptate de lucrări de explorare (fig. XII.7);

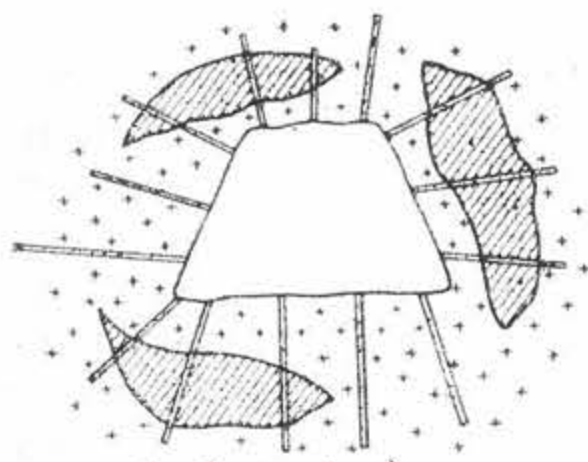


Fig. XII.7. Amplasarea găurilor de mină în vederea detectării a noi corpuri de substanță minerală utilă.

— se poate face probarea concomitent cu săparea lucrării miniere, chiar și cînd se execută lucrări suplimentare;

— materialul probă se prezintă gata sfărîmat, măcinat și omogenizat, nemaifiind nevoie decît de majorare înainte de efectuarea analizelor chimice;

— gradul înalt de mecanizare conferă metodei o mare operativitate și implicit o mare economicitate;

— în cazul cînd se pune problema exploatării pilierilor de siguranță se poate face o probare pe toată grosimea lor etc.

Dezavantajele metodei:

— în cazul zăcămintelor de grosime medie sau mică obținerea probelor este destul de imprecisă, ca urmare a traversării atît a rocilor din acoperiș cît și a celor din culcușul corpului de substanță minerală utilă;

— în situația rocilor fisurate sau cu cavități (geode) se pierde material probă;

— în cazul corpurilor cu benzi de minerale friabile se poate introduce o eroare sistematică;

— nu întotdeauna axa găurii de mină corespunde cu direcția de variație maximă a mineralizației, ceea ce conduce la scăderea caracterului reprezentativ etc.

Cu toate dezavantajele enumerate mai sus, totuși metoda se folosește, dar niciodată fără a fi verificată pe o porțiune de zăcămintă care a fost probată și prin alte metode.

Proba în sine poate fi constituită din materialul prelevat de la o singură gaură de mină (probă elementară) sau din mai multe, pînă la toate găurile dintr-un ciclu de înaintare.

Probarea prin această metodă se face în găuri scurte (1,5—3 m) în cazul corpurilor sub formă de stock sau stockwerk (cazul cel mai avantajos de aplicare), corpuri de formă tabulară de diferite dimensiuni, sau prin găuri lungi de pînă la 100 m (probele în această situație se secționează în tronșoane de pînă la 2 m lungime) pentru:

— corpuri lentiliforme;

— filoane satelit;

— apofizele corpului sub formă de stock sau stockwerk.

Pentru probarea zăcămintelor care se prezintă sub formă de volburi, stokuri, impregnații, cu structură compactă, în România s-a brevetat ca invenție „Dispozitivul de recoltat probe geologice prin metoda găurilor de mină” realizat de colectivul de geologi de la Roșia-Montană (jud. Alba).

Dispozitivul (fig. XII.8) permite recoltarea de probe geologice continuu, din metru în metru, sub un unghi de 40° față de axa galeriei, lungimea găurii fiind de 1,30 m, iar caracterul continuu se realizează prin proiectarea probelor pe axul galeriei.

Modul de recoltare a probei geologice constă în perforarea unei găuri la locul de probare, în lungime de 15 cm, cu cap detașabil cu diametrul de 62 mm (fără recuperarea materialului), după care în gaura astfel formată se introduce tubul metalic 3, care se fixează, realizîndu-se o etanșeitate perfectă între acesta și pereții găurii de mină. Prin tubul metalic se introduce tija perforatorului prevăzută cu un cap detașabil cu diametrul de 45 mm. Pe porțiunea din tubul metalic rămasă în afara găurii de mină și pe tija perforatorului 7 se aplică camera de evacuare a noroiului 4, pusă în legătură printr-un furtun de cauciuc 5, cu vasul de colectare 6. Noroiul rezultat în urma perforării găurii de mină (material probă plus apă) este evacuat în vasul de colectare pînă la decantare totală, iar apoi prin eliminarea apei se obține materialul probă, care urmează să fie supus analizelor de laborator.

La o gaură de mină cu lungime de 1,00—1,30 m, în funcție de diametrul corpului detașabil și greutatea specifică a rocii mineralizate, în mod teoretic se obțin 3—5 kg de material; practic prin cîntăriri s-au obținut, la un recuperaj de 92%, probe cu greutate de 2,90—4,10 kg.

Dintre avantajele acestui dispozitiv de recoltat probe geologice se menționează:

— mecanizarea lucrărilor de probare geologică;

— ușurința manevrării;

— adaptarea la orice fel de perforator;

- utilizează același tip de energie care se folosește și la săparea lucrărilor miniere;
- obținerea unui recuperaj bun (92%);
- nu se produc pierderi privind conținutul în componenți utili;
- are productivitate mare (3—4 m liniari pe post);
- costul unei probe mecanice este de 4—5 ori mai mic decât al unei probe manuale.

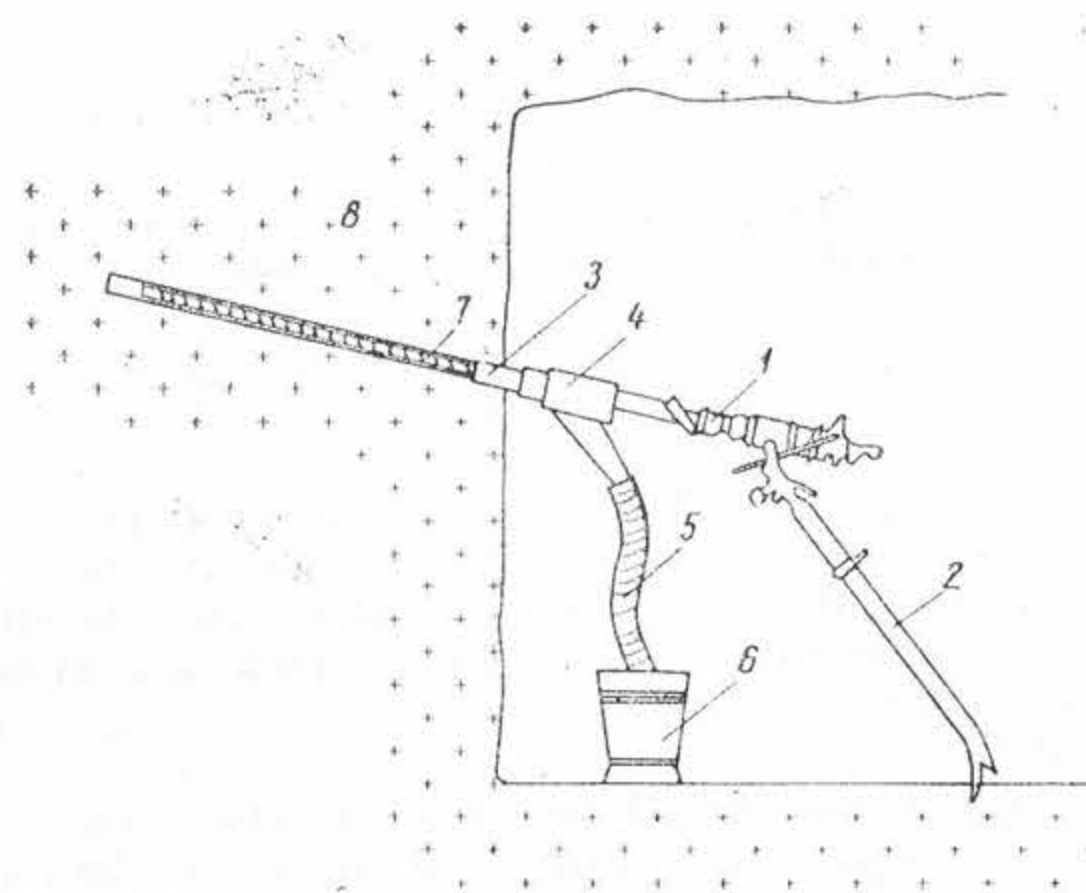


Fig. XII.8. Dispozitiv de recoltat probe geologice prin metoda găurilor de mină realizat de colectivul de geologi de la Roșia-Montană jud. Alba):

1 — perforator; 2 — coloană de susținere; 3 — tub metalic; 4 — cameră de evacuare a noroiului; 5 — furtun de cauciuc; 6 — vas de colectare; 7 — sfredel de perforare; 8 — front de galerie mineralizat.

Utilizarea dispozitivului se face ori de câte ori condițiile geologice impun acest lucru, și pentru a nu se introduce erori se fac încercări experimentale.

Metoda de probare globală. Se încadrează la metodele de probare pentru determinarea conținutului în componenți utili deoarece servește întotdeauna la determinarea acestora, deși se utilizează și în cazul metodelor pentru determinarea caracteristicilor tehnice și tehnologice.

Probele se prelevează în momentul săpării lucrărilor de explorare (galerii, suitori, puțuri de mină și șanțuri), iar cantitatea de material probă este formată fie din toată masa rezultată la săpare într-un ciclu de înaintare, fie numai din o parte din această masă. Când proba este constituită numai dintr-o parte de material excavat, aceasta se obține în timpul încărcării materialului în vagonete (la un anumit număr de lopeți se reține o lopată pentru probă) sau în timpul transportului (când la un anumit număr de vagonete cu material de haldare unul se reține pentru probă).

Pentru aplicarea metodei de probare globală, materialul excavat trebuie să aibă o anumită granulație, altfel se pot introduce erori sistematice.

Când rezultatele probării globale se folosesc la calculul rezervelor, probele se iau sistematic, în funcție de gradul de neuniformitate al mineralizației, astfel:

— pentru mineralizații extrem de neuniforme probele se iau în mod continuu, după fiecare ciclu de înaintare;

— în cazul mineralizațiilor neuniforme și foarte neuniforme probele se prelevează la un anumit număr de cicluri de înaintare (3—4 cicluri).

Având în vedere că masa probei este mare (zeci de tone), pentru prelucrare se pot întocmi scheme de reducere, dar trebuie avută mare grijă pentru păstrarea caracterului reprezentativ al probării.

Avantajele metodei constau în faptul că rezultatele au o precizie mare și că probarea nu influențează negativ ciclograma de înaintare a lucrării miniere.

Dezavantajele rezultă din cheltuielile ridicate de transport și prelucrare și din imposibilitatea evitării includerii în probă a rocilor din acoperiș și culcuș.

Domeniul de aplicare al metodei este destul de mare, astfel:

— în cazul corpurilor de substanțe minerale utile tabulare cu grosime mai mică de 2 m se pot lua probe la fiecare ciclu de înaintare sau discontinuu, la anumită echi-distanță;

— în cazul corpurilor tabulare cu grosime mare probele se prelevează continuu (la fiecare ciclu de înaintare) din nișele de explorare;

— în cazul corpurilor de alte forme probele se prelevează continuu sau discontinuu (după gradul de uniformitate a componentilor utili), dar numai din lucrările care explorează zăcămintul.

În concluzie, aplicarea uneia sau alteia dintre metodele de probare în lucrări miniere trebuie făcută cu mult discernământ și se recomandă ca în prima fază a explorării geologice, pe o porțiune reprezentativă din zăcămint (cunoscută din prospecțiune) să se experimenteze una sau mai multe metode, urmînd a se aplica metoda care îndeplinește cel mai bine condițiile unei probări corecte. La aplicarea metodologiei de probare prezentată mai sus trebuie să se țină seama de condițiile de zăcămint și de gradul de mecanizare de care se dispune la momentul respectiv.

2.3. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR TEHNICE

Acest mod de probare se aplică pentru determinarea:

- masei volumetrice;
- umidității;
- coeficientul de afinare;
- tăriei rocilor;
- coeficientului de rupere la împușcare;
- rezistenței la compresiune, la șoc mecanic, la forfecare etc.

Probarea în vederea stabilirii masei volumetrice. Se efectuează pe sorturi industriale de substanță minerală utilă, care se pot exploata separat sau în cadrul aceluiasi sort, cînd apar variații mari ale compoziției mineralogice (deci și variații ale masei volumetrice).

Masa volumetrică este un parametru principal de calcul al rezervelor de substanțe minerale utile și, indiferent de metoda de probare și de procedeul de determinare, trebuie să exprime masa unității de volum în condițiile de zăcămint.

Pentru determinarea masei volumetrice se folosește *metoda globală* sau *metoda eșantionării* (eșantioanele având forme geometrice executate în condiții speciale).

În cazul metodei globale excavațiile executate prin împușcare se rectifică la o formă cit mai geometrică (pentru determinarea volumului golului excavat). Prin cântărirea masei obținute și prin raportarea acesteia la volumul excavației se obține masa volumetrică în punctul de probare. Având în vedere faptul că executarea unei asemenea excavații este destul de costisitoare, determinarea masei volumetrice se face pe proba globală recoltată pentru determinarea caracteristicilor chimice, iar pentru obținerea unei valori medii cit mai apropiate de cea reală, se recomandă ca probele globale să fie cit mai uniform distribuite pe unitatea de calcul a rezervei.

Cînd mineralizația are mai puține goluri, iar acestea nu au o influență deosebită asupra determinării masei volumetrice, proba se ia sub forma unei excavații de formă cubică sau prismatică. Dacă roca mineralizată sau chiar mineralizația are tărie mare, excavația se poate face cu explozivi și pe urmă se aduce la forma cerută, cu dalta și ciocanul. În cazul rocilor plastice substanța minerală utilă se extrage sub formă de monolit de formă dreptunghiulară, cu latura mare perpendiculară pe stratificație. Volumul prismei se determină prin măsurarea dimensiunilor cu ruleta, iar masa prin cântărire.

În condiții de laborator, masa volumetrică se determină (folosind aparatura din dotare) pe eșantioane provenite prin metodele de probare menționate, cu condiția păstrării reprezentativității probei. Eșantioanele cu pori mari sau chiar fisuri, după cântărire se parafinează pentru determinarea mai exactă a volumului.

Cînd substanța minerală utilă este foarte compactă (deci masa volumetrică este apropiată de densitate), se poate folosi la determinări *picnometrul* (cantitatea necesară fiind de 1–2 g), materialul pentru determinări putînd proveni din proba duplicat de la analizele chimice.

În vederea ridicării productivității și a măririi eficienței economice, probele pentru determinarea caracteristicilor tehnice se pot analiza în vederea stabilirii umidității, permeabilității, capacității de absorbție etc.

Pentru mineralizațiile metalifere se recomandă să se stabilească masa volumetrică și în funcție de conținutul în componenți utili, luîndu-se în considerare corelația care există între acești parametri.

Probarea în vederea determinării umidității. Determinarea umidității se impune în cazul calculului de rezerve cînd aceasta influențează masa volumetrică și conținutul în componenți utili, care trebuie determinați pe probe uscate. Corecțiile trebuie făcute cînd umiditatea este accentuată.

Pentru determinarea umidității se iau probe răspîndite cit mai omogen pe unitatea de calcul a rezervei, iar pentru determinarea cit mai reprezentativă se recomandă ca acestea să se facă imediat după prelevarea probei.

Materialul probă provenit din prelevarea probelor obișnuite (prin metodele menționate mai sus) pentru determinarea caracteristicilor chimice se cântărește la umiditatea din zăcămint, se sfărîmă pînă la dimensiuni de 10–20 mm, după care se usucă la o temperatură de 105°C pentru eliminarea apei și se cântărește din nou, iar umiditatea (u) se determină cu formula:

$$u = \frac{m_z - m_u}{m_z} \cdot 100 \quad [\%]$$

în care: m_z este masa materialului probă din zăcămint;

m_u — masa materialului probă după uscare.

Umiditatea medie \bar{u} se calculează prin media ponderată cu formula:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \cdot m_{zi}}{\sum_{i=1}^n m_{zi}} \quad [\%]$$

în care: u_i este umiditatea probei i ;

m_{zi} — masa probei i din zăcămint;

n — numărul de probe care se iau în considerare.

Probarea pentru stabilirea coeficientului de afinare. Coeficientul de afinare (k_a) se determină pentru dimensionarea mijloacelor de transport, ca urmare a faptului că substanța minerală utilă extrasă are un volum mai mare decît aceeași masă în situ.

Determinarea coeficientului de afinare se face pe un număr de probe globale, probe la care se poate stabili volumul excavației din care s-a recoltat proba (V_{ex}) și volumul probei extrase (V_e), volum ce se poate stabili cu un vas de transport a cărui capacitate este cunoscută. Pentru determinarea coeficientului de afinare se folosește relația:

$$k_a = \frac{V_{ex}}{V_e}$$

Pentru determinarea coeficientului de afinare se pot folosi probele globale recoltate pentru determinarea caracteristicilor chimice.

Pentru determinarea caracteristicilor tehnice ale substanțelor minerale utile cu diferite utilizări în economie (asbest, talc, mică, materiale de construcție etc.), se prelevează probe și se fac determinări în funcție de standardele de stat în vigoare.

2.4. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR TEHNOLOGICE

Cunoașterea posibilității de valorificare optimă a substanțelor minerale utile, în condițiile tehnico-economice existente la o anumită etapă, se impune încă din prima fază a cercetării geologice (prospecțiunea), iar pe măsură ce cercetarea se adîncește crește și ponderea acestei cunoașteri pînă în faza de exploatare.

Indiferent dacă substanța minerală utilă este valorificabilă în condiții avantajoase sau nu în momentul respectiv, pentru conturarea industrială trebuie să se cunoască caracteristicile tehnologice ale acesteia.

Cercetările pentru determinarea caracteristicilor tehnologice trebuie efectuate după fiecare etapă a explorării (explorare preliminară și de detaliu), chiar dacă probele tehnologice din prospecțiune nu sînt destul de reprezentative, dat fiind faptul că s-ar putea să apară schimbări a caracteristicilor mineralizației pe anumite sectoare.

Pentru determinarea posibilității de valorificare a unei substanțe minerale utile se recoltează probe tehnologice, care se deosebesc de probele pentru determinarea

caracteristicilor chimice prin: mod de prelevare, metoda de studiu și modul de utilizare a rezultatelor.

Probarea tehnologică are scopul de a furniza date privind fluxul tehnologic cel mai indicat pentru obținerea unui produs minier cu valorificare optimă și stabilirea unor parametri necesari pentru întocmirea proiectului de exploatare.

În funcție de etapa de cercetare geologică, modul de recoltare, instalația unde se studiază și obiectivele urmărite, probele tehnologice pentru stabilirea posibilităților de preparare se împart în:

a) *Probe pentru faza de laborator*, care au o cantitate cuprinsă între 10–500 kg, se recoltează în prospecțiune și explorarea preliminară, se analizează în laborator și ne dau informații privind:

- caracteristicile calitative medii ale probei;
- caracteristicile mineralizației (asociație de minerale și concreșteri);
- metodele de preparare;
- fluxul tehnologic informativ;
- parametri informativi privind extracția în componenți utili.

b) *Probe pentru faza pilot*, care au o greutate de 10–100 t, se analizează în instalație pilot (2–12 t/zi) în timpul explorării preliminare și de detaliu, obținându-se informații cu privire la:

- caracteristicile calitative medii ale probei;
- caracterizarea mineralizației (asociații mineralogice și concreșteri);
- flux tehnologic de preparare;
- grad de sfărîmare;
- sorturi de concentrate;
- extracția în greutate;
- extracția în componenți utili;
- consumul de reactivi.

c) *Probe pentru faza semiindustrială*, care au o greutate între 500 și 1 500 t, sînt analizate în instalația semiindustrială (20–40 t/zi), numai în faza de explorare de detaliu și ne dau informații cu privire la:

- caracteristicile calitative medii ale probei;
- fluxul tehnologic de preparare optim;
- gradul de sfărîmare;
- sorturile de concentrate;
- calitatea concentratelor;
- extracția în greutate;
- extracția în componenți utili;
- consumurile specifice de energie, materiale și reactivi.

d) *Probe pentru faza industrială (microproducție)*, care au o masă mai mare de 1 500 t, sînt prelucrate în instalație în funcțiune (peste 125 t/zi), se recoltează în fazele de explorare de detaliu și de exploatare, avînd ca scop verificarea și îmbunătățirea fluxului tehnologic de preparare în vederea ameliorării parametrilor de extracție.

Probele tehnologice se recoltează dintr-un număr limitat de puncte de mineralizație, în comparație cu probele geologice pentru determinarea caracteristicilor chimice, care se recoltează sistematic din toată mineralizația.

Uneori pentru probele din faza de laborator și chiar pilot se poate folosi materialul rămas prin reducerea probelor chimice sau din carotele de la foraje.

Prelevarea probelor se face respectînd condițiile în care se află mineralizația (fără diluție), în special pentru faza de laborator și faza pilot, sau în condițiile viitoare

exploatări (admițînd o diluție corespunzătoare tipului de mineralizație și metodele de exploatare preconizate) pentru faza semiindustrială și obligat pentru faza industrială.

Cantitatea de material probă și locul propus trebuie să fie corespunzătoare scopului.

Dacă cantitatea de material este mai mare decît necesarul de material corespunzător fazei de încercări tehnologice, se poate trece la reducerea materialului, după ce ne-am asigurat de reprezentativitatea maximă.

Pentru probele semiindustriale și industriale se transportă întreaga cantitate prelevată din mineralizație.

După prelevare, conform proiectului, se va efectua o probare chimică, atît a locului de prelevare cît și a materialului abatut (extras).

De regulă, probele tehnologice se prelevează din lucrările de explorare care traversează corpul mineralizat, după direcția de variație maximă a conținutului în componenți utili.

Înainte de operația propriu-zisă de prelevare a probei se marchează locul, marcaj care trebuie să rămînă și după ce s-a recoltat proba, iar locul respectiv se curăță și se nivelează cît mai bine posibil.

Dintre metodele utilizate pentru probarea tehnologică menționăm:

- brazde pentru probările chimice;
- metoda brazdelor răzuite;
- brazde obținute prin împușcarea pereților laterali sau a tavanului;
- folosirea întregului material dintr-o lucrare care explorează zăcămintul;
- utilizarea materialului din abataje experimentale sau semiproducție, proiectate pentru verificarea parametrilor de explorare.

La recoltarea probelor tehnologice se are în vedere ca locul de prelevare să fie ferit de infiltrații care, printr-o antrenare de minerale din alt loc decît cel de probare, ar denatura conținutul; de asemenea, se exclud intercalațiile sterile care se pot separa în procesul exploatării.

Pentru depozitarea probei tehnologice se iau o serie de măsuri cum ar fi:

- marcarea locului de depozitare;
- evitarea contaminării probei;
- evitarea posibilităților de alterare a probei printr-o sincronizare între depozitare și transport;
- evitarea depozitării probei (pe cît posibil) în subteran;
- pentru probele pilot, semiindustriale sau industriale se recomandă amenajarea locului înainte de depozitare (de regulă se construiesc platforme).

Transportul probelor la instalația de prelucrare presupune, și el, anumite măsuri cum ar fi:

- probele în cantități mici (faza laborator) nu pun probleme mari de transport, dar cu toate acestea se evită contaminarea;
- probele în cantități mari presupun respectarea cu strictețe a măsurilor prevăzute în proiectul de recoltare a probelor;
- la transportul în subteran se vor evita rostogoalele prin care se scurge apa, iar pentru cele uscate se face o curățire perfectă de materialul rămas de la transporturile anterioare; vagonetele de transport se curăță și ele foarte bine;
- se evită transportul probelor tehnologice pe distanțe mari în mijloace de transport descoperite, în timpul iernilor, anotimpurilor ploioase etc;
- pe distanțe scurte se recomandă a se folosi mai mult transportul auto, pentru a se evita încărcările și descărcările pe calea ferată;
- în cazul transportului auto se curăță foarte bine autocamioanele (platformele), se verifică atanșeitatea, iar în timpul ploilor minereul se acoperă cu prelate;

— transportul containerizat este de preferat deoarece în acest mod se evită pierderile și impurificările;

— orice transport trebuie să fie însoțit de o foaie de transport, care cuprinde: proveniența probei, locul unde a fost încărcată (galerie, rampă, siloz etc.), cantitatea încărcată, iar foaia trebuie semnată de cei care au predat proba și au asistat la încărcarea și de primitorul probei la destinație. Foile de transport se anexează la pașaportul probei (actul de identitate care însoțește orice probă tehnologică) care cuprinde:

- felul probei și faza de cercetare;
- denumirea zăcămintului;
- sortul de substanță minerală utilă;
- locul de prelevare (cît mai detaliat prezentat);
- modul de recoltare;
- cantitatea de material recoltat de la probare;
- modul de reducere a probei (dacă este cazul);
- prezentarea scurtă a zonei și a locului de recoltare (se anexează o schiță geologică a planului de orizont cu locul de prelevare, pe care se trec și probele chimice din documentația cu calculul de rezerve);

- un plan de situație cu probele chimice recoltate ulterior probei tehnologice;
- modul de depozitare și transport;
- precizarea modificărilor la proiectul de recoltare a probelor (dacă este cazul);
- observații deosebite și unele recomandări privind studierea probelor.

Documentul care însoțește proba trebuie semnat de următoarele persoane:

- geologul care a urmărit recoltarea probei tehnologice;
- inginerul care a răspuns de executarea lucrărilor;
- conducătorul șantierului.

Rezultatele probelor tehnologice se utilizează la următoarele documentații:

- studii de condiții industriale;
- proiecte geologice și studii de etapă;
- documentații de evaluare a rezervelor;
- studii tehnico-economice de valorificare.

3. METODICA PROBĂRII ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE EXPLORATE CU LUCRĂRI MINIERE

3.1. PROBAREA ÎN ȘANȚURI ȘI TRANȘEE DE EXPLORARE

Ca regulă generală, la probarea substanței minerale utile în șanțuri și tranșee se are în vedere ca locurile de probare să se aleagă întotdeauna pe pereții șanțului sau tranșeei și numai în cazuri cu totul excepționale (cînd mineralizația apare numai în vatră) se admite alegerea locului de probare și în vatră. Nu se admite amplasarea locu-

lui de prelevare a probelor în vatră deoarece există pericolul de contaminare (care este foarte mare).

Cînd se aplică metoda brazdelor se urmărește ca brazdele să fie orientate (pe cît posibil) după direcția de măsurare a grosimii normale (fig. XII.9, a), iar cînd aceasta nu se încadrează pe unul din pereții șanțului, probele se amplasează orizontal (după grosimea orizontală; fig. XII.9, b).

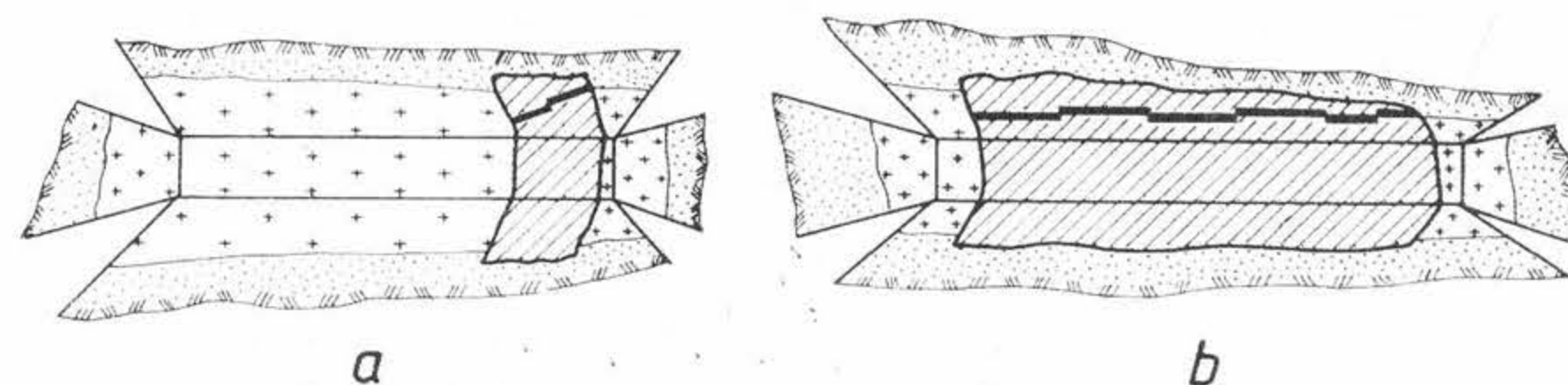


Fig. XII.9. Amplasarea probelor brazdă pe unul din pereții șanțului.

În situațiile în care probele brazdă trebuie să fie amplasate în vatra șanțului sau tranșeei, se iau toate măsurile pentru nu diminua caracterul reprezentativ, iar probele se amplasează după grosimea aparentă orizontală, direcția axei mari a brazdelor fiind paralelă cu axa mare a șanțului (fig. XII.10, a). Asemenea situații pot să apară cînd din motive tehnice nu s-a putut săpa un șanț adînc, grosimea depozitelor acoperitoare fiind mai mare de 4 m sau din cauza mijloacelor tehnice de execuție.

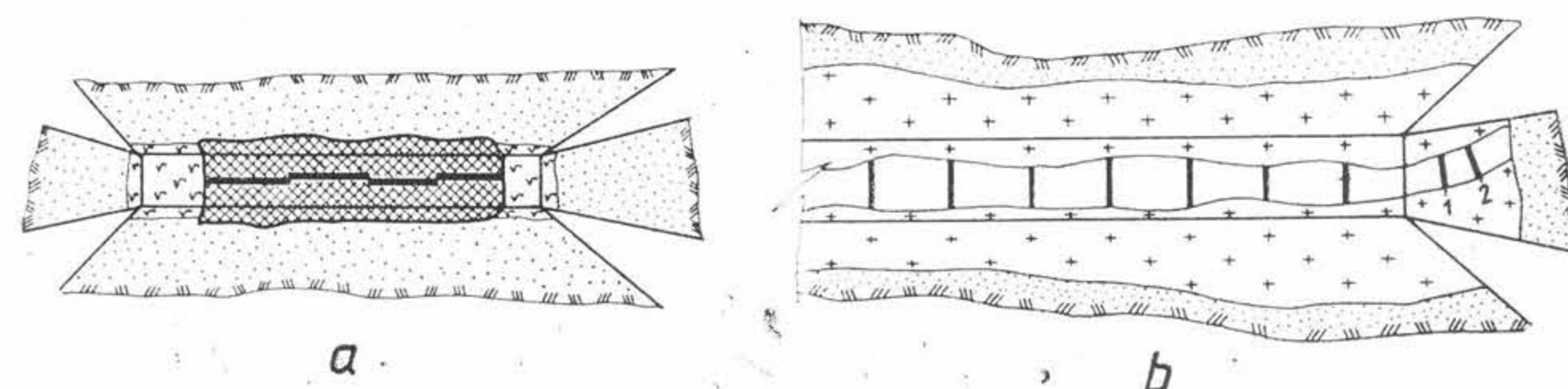


Fig. XII.10. Amplasarea probelor brazdă în vatră și în frontul șanțului.

Pentru situațiile în care șanțul sau tranșeea urmărește corpul de substanțe minerale utile (zăcămintele filoniene de grosime mică), probele brazdă se recoltează tot din vatra șanțului, dar axa mare a probei este perpendiculară pe direcția axei mari a șanțului (fig. XII.10, b). În asemenea situații probele se mai pot preleva și din frontul șanțului sau tranșeei, atît după grosimea orizontală cît și după grosimea normală (fig. XII.11).

În cazul zăcămintelor filoniene cu intercalații sterile, brazdele pot să includă și aceste intercalații (fig. XII.11, a) — cînd grosimea intercalației nu permite evitarea ei în procesul exploatării, sau să nu le includă (fig. XII.11, b) — cînd se pot separa în exploatare. Pentru situația în care intercalația dintre părțile compacte este și ea

mineralizată, se probează separat partea compactă și separat partea de impregnație (fig. XII.11, c).

Amplasarea probelor se poate face pe grosimea normală, pe grosimea orizontală sau pe grosimea aparentă, după cum ne situăm în unul din cazurile menționate mai sus.

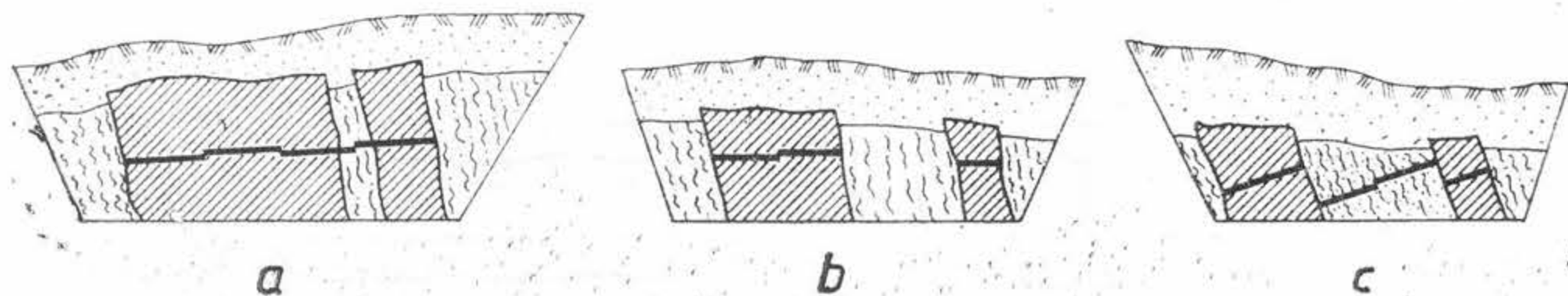


Fig. XII.11. Probarea corpului de substanță minerală utilă în peretele șanțului sau tranșei în cazul prezentei intercalațiilor de rocă sterilă.

În cazul zăcămintelor de tip stockwerk, unde corpul nu are o limită netă cu roca înconjurătoare, probele se iau de regulă cu lungime egală ($l = 1$ m), pentru ca în urma analizelor chimice să se poată stabili limita corpului ca interes economic. În asemenea cazuri probele se prelevează pe toată porțiunea pe care se întinde alterația hidrotermală (fig. XII.12).

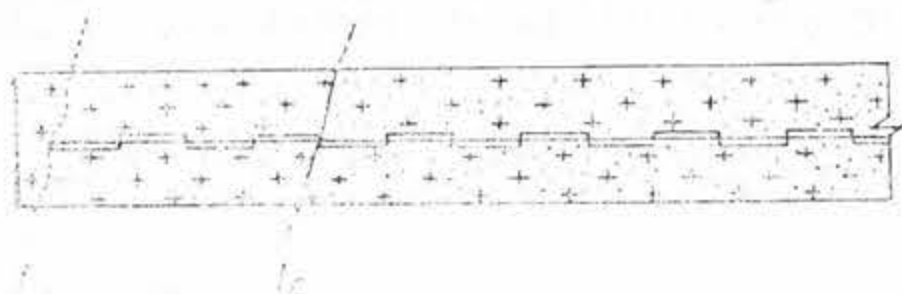


Fig. XII.12. Modul de prelevare a probelor în cazul unui zăcămint fără limite nete cu roca înconjurătoare:

l_g — limită geologică presupusă; l_c — limită de conturare (industrială).

Metoda brazdelor prin răzuire se poate aplica și în cazul șanțurilor, în funcție de forma corpului de substanță minerală utilă, după cum urmează:

— în cazul corpurilor de grosime mare și înclinare mare, mineralizație neomogenă sau foarte neomogenă, brazdele se iau după grosimea orizontală, din peretele șanțului,

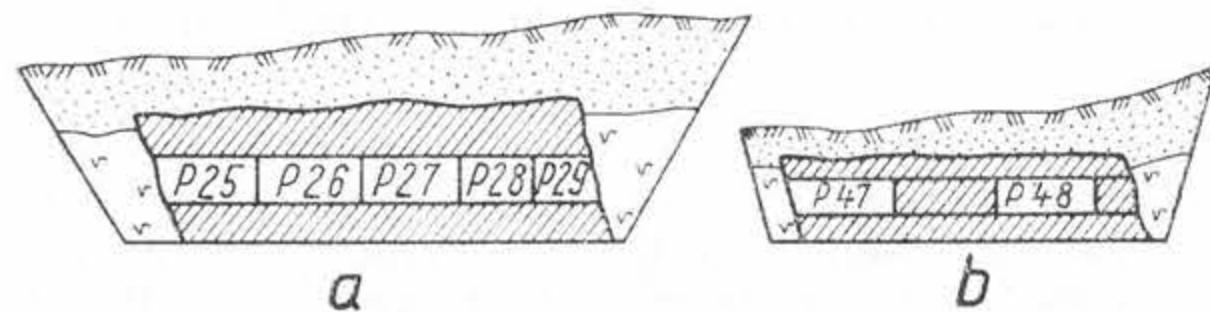


Fig. XII.13. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire în cazul unui zăcămint filonian de grosime mare.

continuu (fig. XII.13, a), avînd lungimea de 1 m, iar spre limitele zăcămintului se respectă regula de la pag. 311 și numai în cazuri cu totul excepționale se prelevează probe din vatra șanțului.

Cînd mineralizația este omogenă se pot preleva brazde discontinue (fig. XII.13, b);

— pentru corpurile de grosime mică (< 1 m), cu înclinare mare, brazdele se prelevează din vatra șanțului, lungimea unei brazde fiind de 1 m, iar lățimea va fi egală cu grosimea filonului. Dacă mineralizația este foarte neuniformă, probele se iau în mod continuu (fig. XII.14, a), iar dacă este neuniformă probele brazde se pot recolta și discontinuu (fig. XII.14, b);

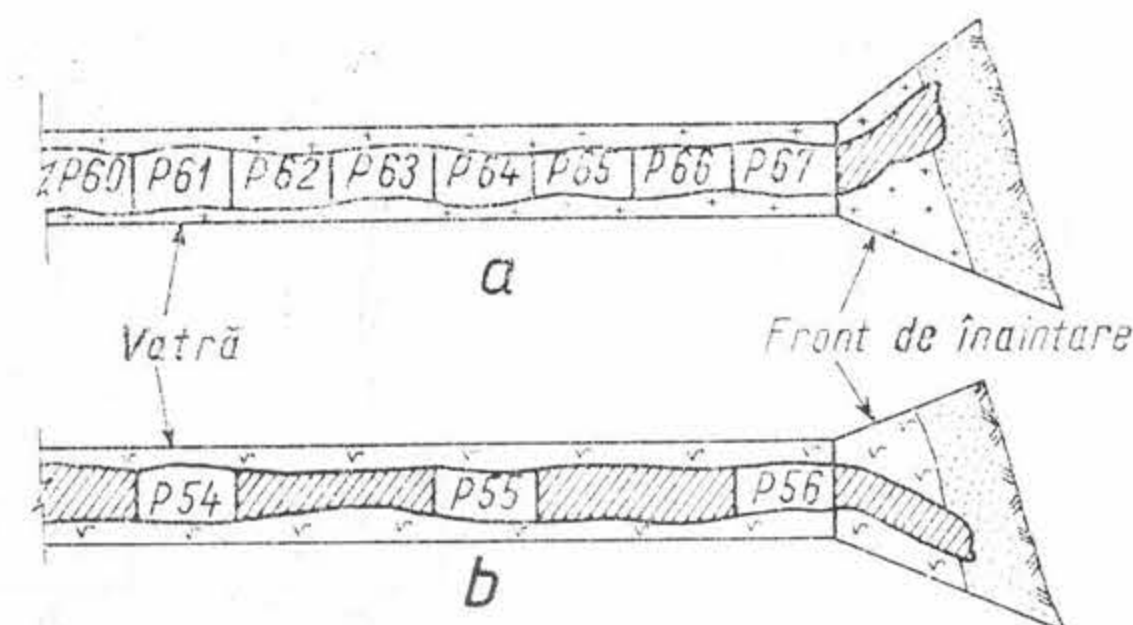


Fig. XII.14. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire în cazul unui zăcămint filonian de grosime mică.

— pentru corpurile de mineralizații de tip stockwerk se aplică aceeași metodologie ca în cazul corpurilor de grosime mare, cu mențiunea că în zona limitei brazdele se iau continuu, pentru a se preciza limita industrială, deși este mai indicat ca limita industrială să se stabilească cu brazde obișnuite

În cazul metodei punctelor, probele parțiale se amplasează pe unul din pereții șanțului sau tranșei, sau chiar pe vatră. Metoda punctelor este recomandată a se aplica în cazul în care sîrtem nevoiți să probăm substanța minerală utilă în vatră, deoarece prin acest mod de probare pericolul de cotoaminare a probelor este mai scăzut.

3.2. PROBAREA ÎN PUȚURI DE MÎNĂ, PUȚURI DE EXPLORARE, SUITORI ȘI COBORÎTORI

Probarea în puțuri de mină și puțuri de explorare. În cazul folosirii puțurilor în explorarea corpurilor de substanțe minerale utile, probele se recoltează, de regulă, din pereții puțului (de pe un singur perete sau de pe doi pereți opuși, în funcție de gradul de variație a componentelor utili).

Metoda brazdelor este o metodă des folosită în cazul puțurilor, brazdele urmînd a se preleva după grosimea normală sau grosimea verticală (fig. XII.15).

În cazul în care apar intercalații sterile între partea compactă, acestea pot fi incluse în sistemul de probare (fig. XII.16, a), evitate (cînd se pot separa în procesul

explorării fig. XII.16, b) sau se vor proba separat (în cazul în care și aceste roci conțin componente utile, fig. XII.16, c).

Pentru corpurile de dimensiuni mari puțurile se probează pe unul din pereți, iar probele au lungime de 1 m. În situația în care nu se sesizează o limită netă între zona mineralizată și roca înconjurătoare, probele trebuie să aibă obligatoriu lungime de 1 m, pentru ca separarea dintre cele două zone să se facă pe baza analizelor chimice.

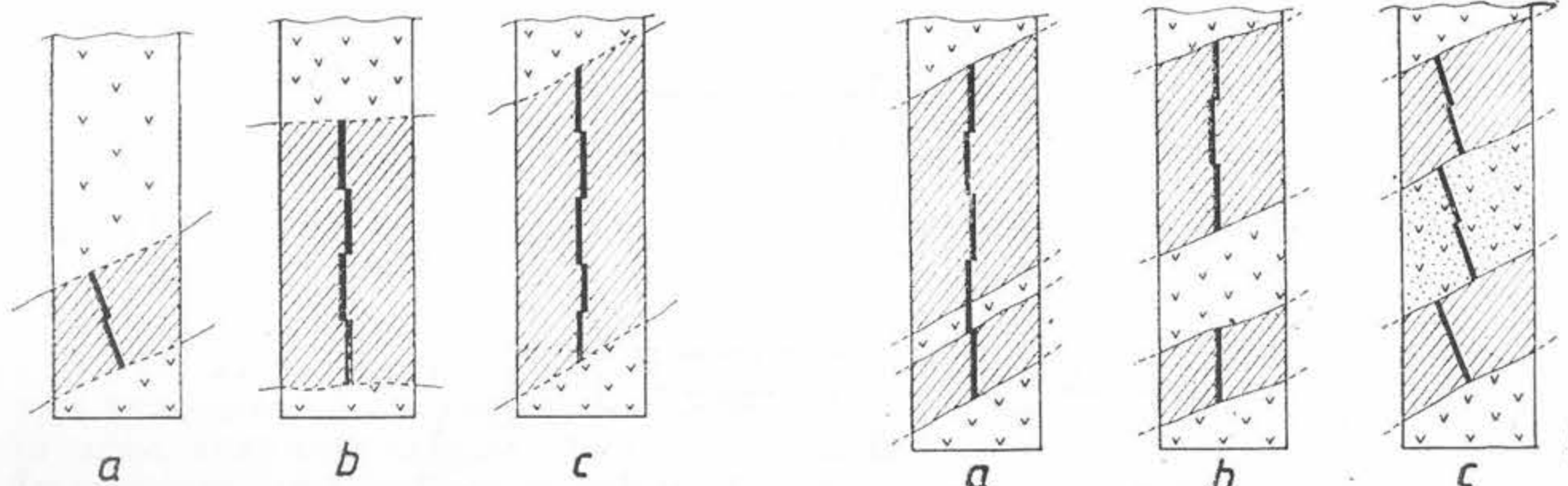


Fig. XII.15. Amplasarea brazdelor pe peretele puțului în cazul explorării unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară (filon, strat etc.):

a — brazde amplasate după grosimea normală în cazul unui corp înclinat de grosime mică;
b — brazde amplasate după grosimea normală, în cazul unui corp orizontal de grosime mare;
c — brazde amplasate după grosimea aparentă verticală, în cazul unui corp înclinat de grosime mare.

În caz cu totul excepțional (deoarece asemenea corpuri nu se explorează cu puțuri) brazdele se pot amplasa orizontal, când este vorba de explorarea corpurilor de formă tabulară, grosime mică (< 2 m) înclinare mare sau verticale.

Pentru corpurile care conțin mineralizație uniformă și foarte neuniformă, din puțuri se pot recolta probe *brazde punctiforme*.

Metoda brazdelor prin răzuire se poate aplica și în cazul puțurilor, iar în funcție de gradul de neuniformitate a mineralizației, acestea se pot recolta în mod continuu sau discontinuu (fig. XII.17). Procedul de probare are mare aplicabilitate în cazul zăcămintelor reziduale.

Și în cazul puțurilor se poate aplica cu succes *metoda punctelor*, probele elementare putând fi amplasate după grosimea normală (fig. XII. 18, a) sau după grosimea aparentă verticală (fig. XII.18, b), după cum grosimea normală se încadrează sau nu în pereții puțului.

Probarea în suitori și coboritori. Când la explorarea corpurilor de substanțe minerale utile se utilizează suitori și coboritori, acestea se probează pe unul din pereți sau pe doi pereți opuși, după cum mineralizația are un grad mare sau mai mic de omogenitate.

Având în vedere că nu există diferențe între probarea unei suitori și a unei coboritori, se va trata numai probarea în cazul suitorilor, aceasta făcându-se cel mai frecvent prin cele trei metode: brazde, brazde prin răzuire și metoda punctelor.

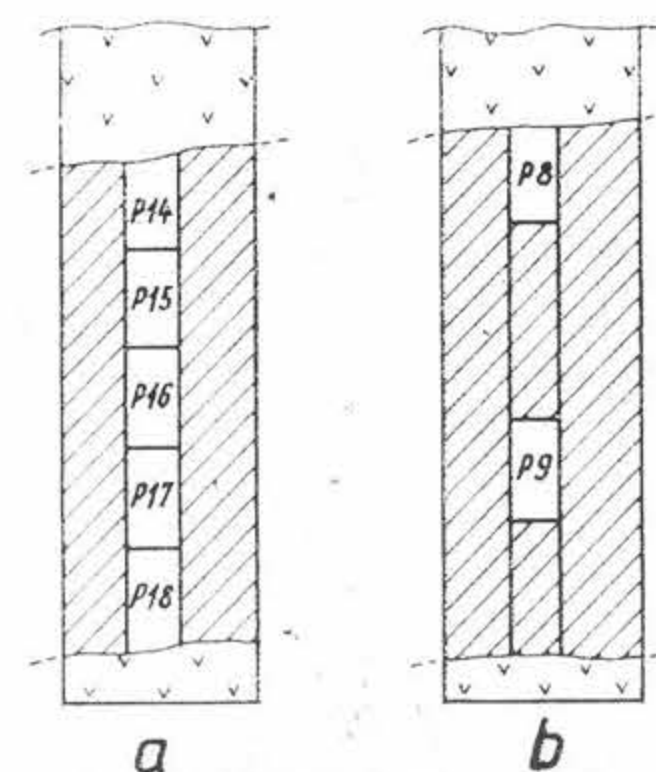


Fig. XII.17. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire pe peretele puțului:

a — mineralizație foarte neuniformă;
b — mineralizație neuniformă.

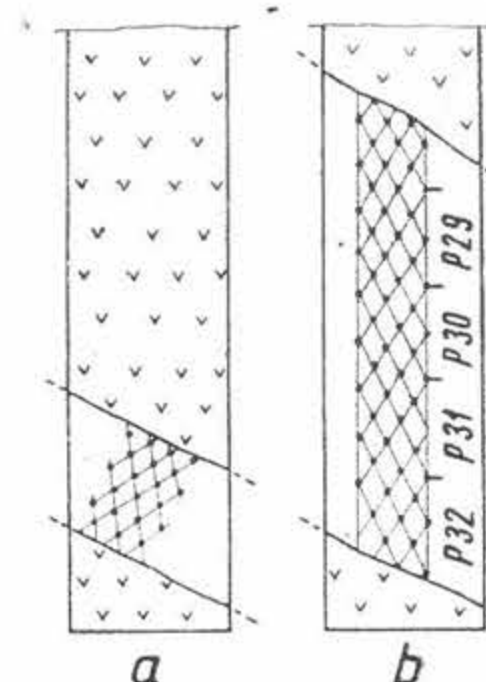


Fig. XII.18. Amplasarea probelor parțiale pe pereții puțului, în cazul aplicării metodei punctelor.

Metoda brazdelor se aplică în cazul corpurilor tabulare de grosime mică (< 2 m) și înclinare medie sau mare.

La asemenea tipuri de zăcămintele brazdele se iau după grosimea normală, pentru corpurile cu înclinare medie (fig. XII.19, b) și după grosimea orizontală la corpurile cu înclinare mare sau verticale (fig. XII.19, a).

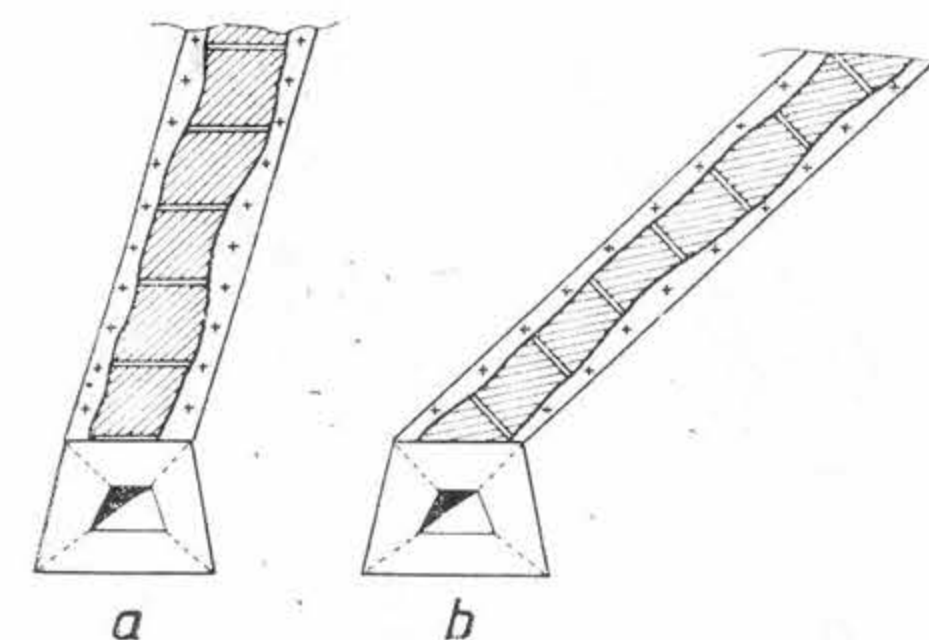


Fig. XII.19. Amplasarea probelor brazdă pe pereții unei suitori, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară, grosime mică și înclinare mare sau medie.

În cazul corpurilor tabulare de grosime mare (> 2 m) sau în cazul în care suitorile fac legătura între orizonturi, la zăcămintele în formă de stok sau stockwerk (suitorile care explorează mineralizația) probele se amplasează după înclinarea suitorii (fig. XII.20).

Metoda brazdelor prin răzuire se aplică și în cazul explorării cu suitori a corpurilor de formă tabulară, de grosime medie și mare. Și în acest caz pot să apară două situații, astfel: dacă mineralizația este foarte neuniformă brazdele prin răzuire se iau în mod continuu (fig. XII.21, a), iar dacă mineralizația este neuniformă brazdele prin răzuire se pot preleva discontinuu (fig. XII.21, b).

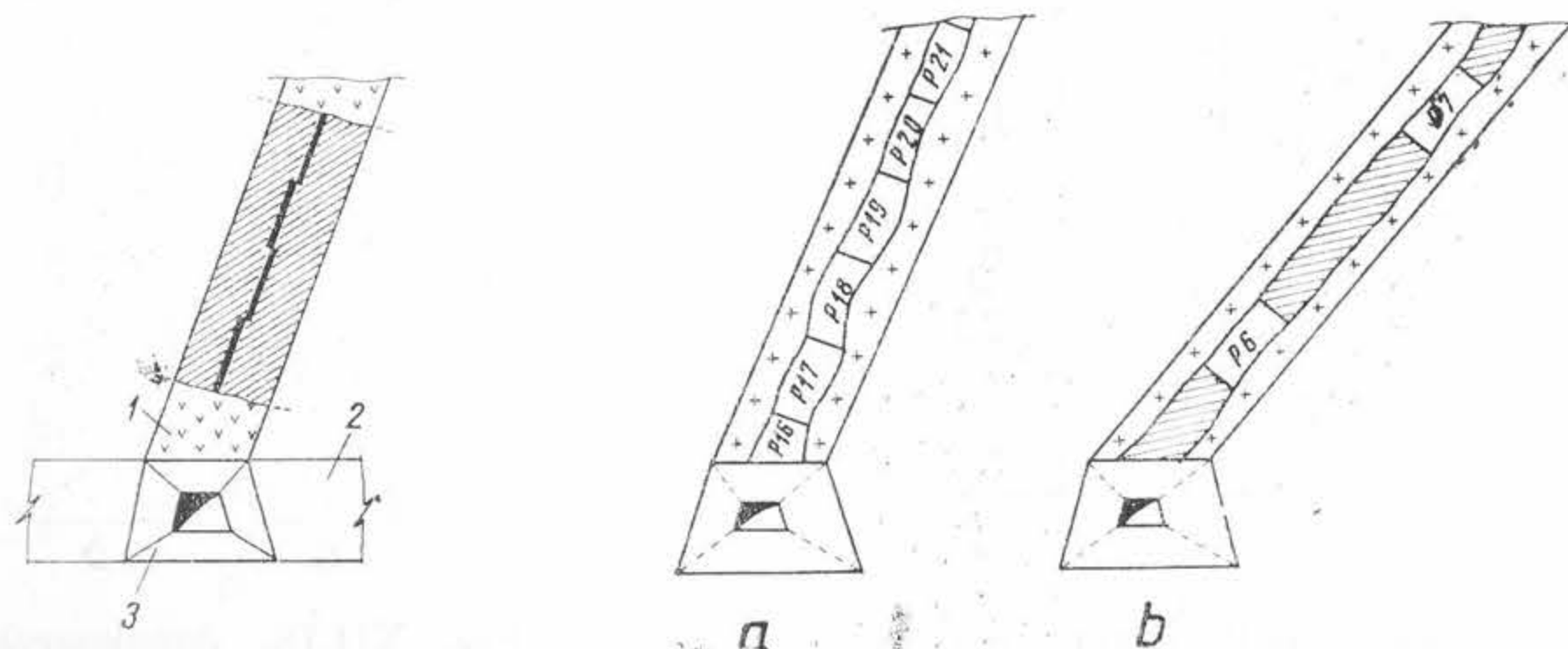


Fig. XII.20. Modul de Amplasarea probelor în peretele suitorii care explorează un zăcămint de grosime mare:

1 — suitoare; 2 — peretele galeriei transversale; 3 — galerie direcțională.

Fig. XII.21. Modul de prelevare a probelor brazdă prin răzuire în peretele suitorii.

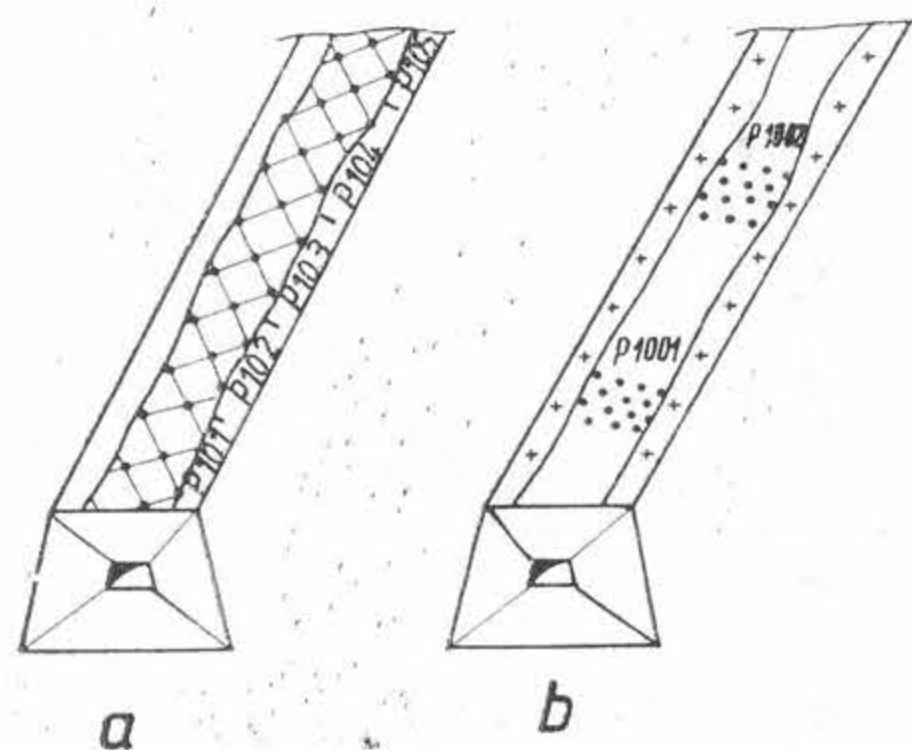


Fig. XII.22. Amplasarea probelor în peretele suitorii, în cazul metodei punctelor:

a — probare continuă; b — probare discontinuă

Metoda punctelor se aplică și în cazul suitorilor și coborîtorilor, cu mențiunea că probele elementare se pot recolta continuu sau discontinuu, în funcție de particularitățile mineralizației (fig. XII.22).

3.3. PROBAREA ÎN GALERII ȘI PLANE ÎNCLINATE

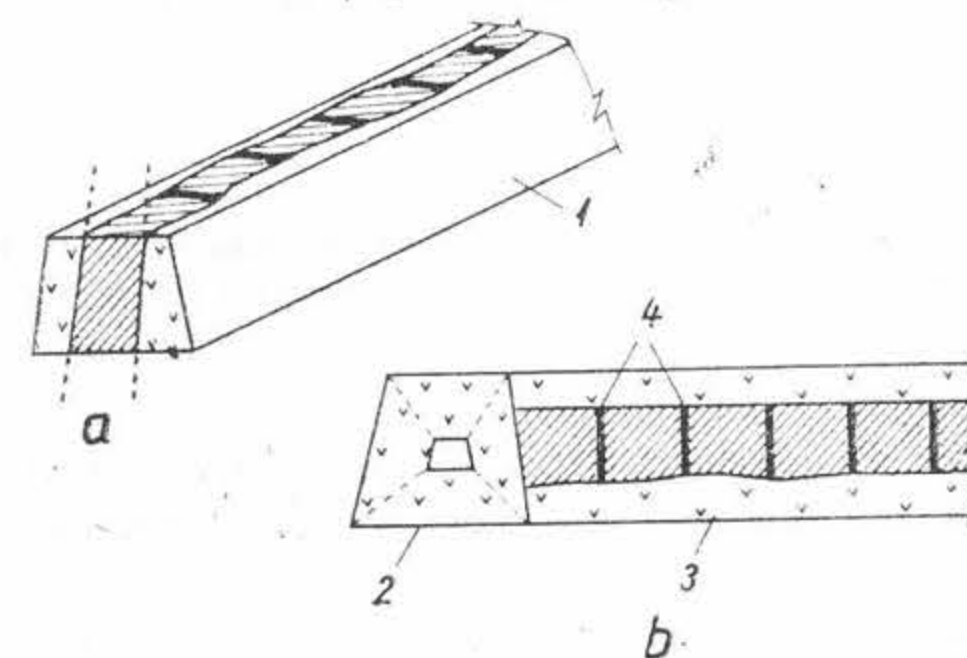
Probarea substanței minerale utile în *plane înclinate* este asemănătoare cu probarea în *galerii*, fapt pentru care vor fi tratate cele mai frecvente metode utilizate pentru galeriile de explorare.

Metoda brazdelor se aplică în funcție de tipul de galerie (direcțională sau transversală) și de poziția spațială a corpului de substanță minerală utilă cunoscut din prospecțiune.

În cazul zăcămintelor de grosime mică probele brazdă se amplasează în funcție de înclinarea corpului, astfel: la corpurile cu înclinare mare și medie probele se prelevează din tavanul galeriei direcționale, după grosimea orizontală, brazdele fiind distanțate la 1 m una de alta (fig. XII.23, a); la corpurile de grosime mică și înclinare mică sau orizontale, explorate cu galerii direcționale și plane înclinate, probele se prelevează de pe peretele galeriei, după grosimea verticală (fig. XII.23, b).

Fig. XII.23. Amplasarea probelor brazdă în cazul explorării prin galerii sau plane înclinate a unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime mică (<2m):

a — corp cu înclinare mare; b — corp cu înclinare mică sau orizontal; 1 — galerie direcțională; 2 — galerie transversală; 3 — peretele galeriei direcționale; 4 — probe brazdă.



Tot în cazul corpurilor de grosime mică, brazdele se pot amplasa și în frontul de înaintare a galeriei sau a planului înclinat (fig. XII.24), avînd în vedere prelevarea mai ușoară a probei, dar trebuie subliniate două mari dezavantaje ale acestui mod de probare, cum ar fi: includerea probării în ciclograma de înaintare a lucrării respective, deci creșterea timpului de înaintare și imposibilitatea repetării probării.

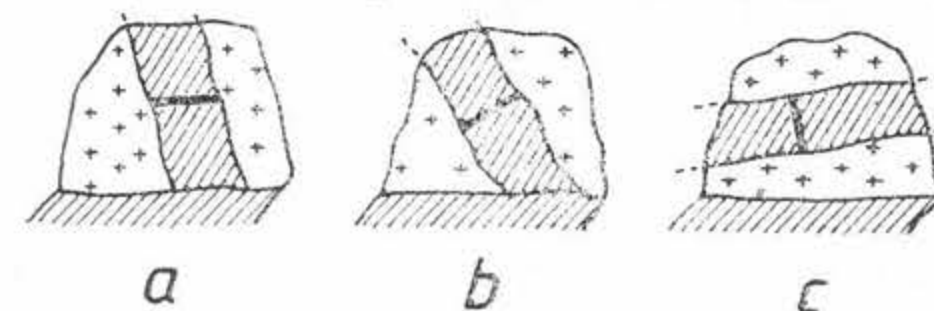


Fig. XII.24. Amplasarea brazdelor în frontul galeriei sau a planului înclinat:

a — corp cu înclinare mare; b — corp cu înclinare medie; c — corp cu înclinare mică.

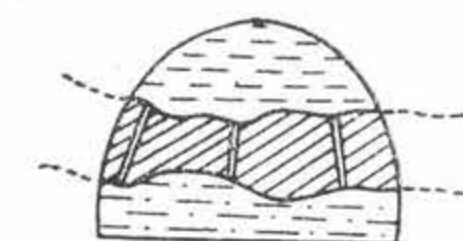


Fig. XII.25. Probarea în frontul galeriei sau a planului înclinat, în cazul unui zăcămint cu variații mari de grosime și a mineralizației.

Dacă se observă variații mari ale mineralizației atât pe verticală cît și pe orizontală, atunci din frontul galeriei se pot preleva două sau mai multe probe, urmînd ca în final să se facă media conținuturilor (fig. XII.25).

În cazul corpurilor de grosime mare și înclinare medie sau mare, explorate cu nișe, probele se iau orizontal pe unul sau doi pereți (fig. XII.26, *a*), iar în cazul în care apar intercalații sterile se aplică aceleași principii ca la șanțuri, puțuri de mină, suitori și coboritori, adică intercalația sterilă se probează (fig. XII.26, *b*), se exclude (fig. XII.26, *c*) sau se probează separat, când și aceasta conține minerale utile (fig. XII.26, *d*).

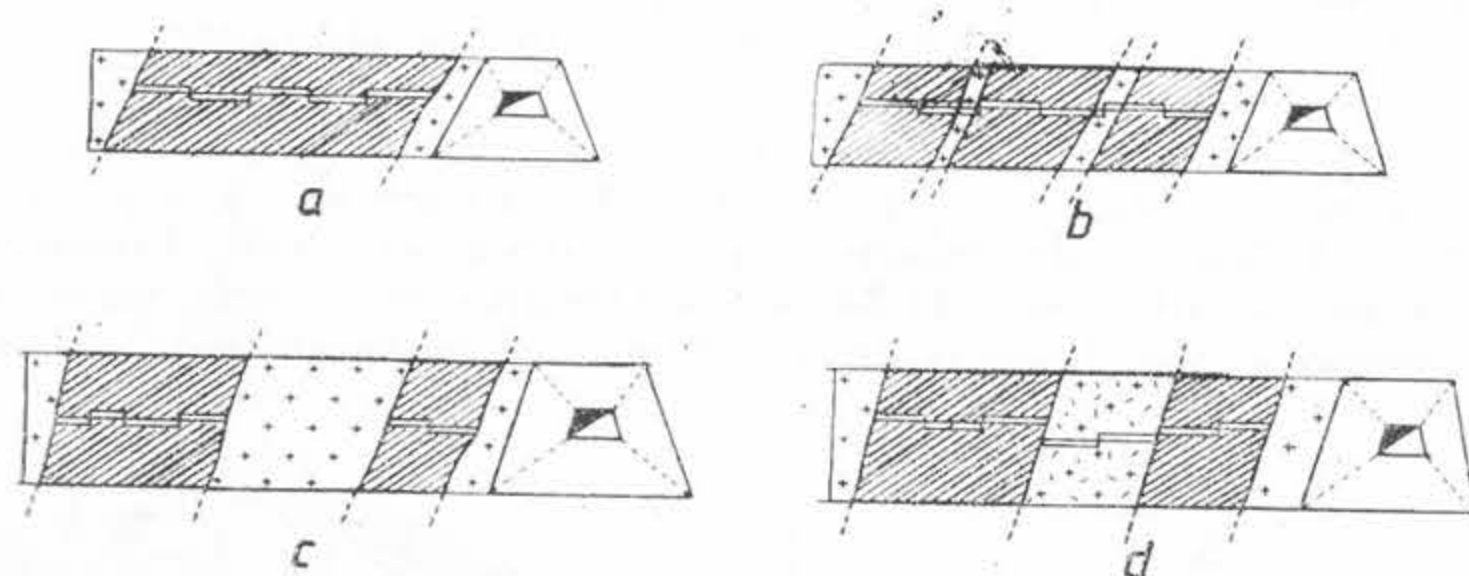


Fig. XII.26. Probarea prin brazde în peretele unei nișe sau galerii transversale, în cazul corpurilor de substanțe minerale utile de grosime mare și înclinare mare sau medie.

Există și situații când o galerie de acces traversează corpul de substanță minerală utilă (zăcămint tabular cu înclinare mică și tectonizat), deși corpul se explorează cu lucrări verticale. În acest caz probarea în porțiunea respectivă trebuie făcută astfel încât probele să fie comparabile cu cele din lucrările verticale (foraje) (fig. XII.27). Acest mod de probare apare cu totul întâmplător.

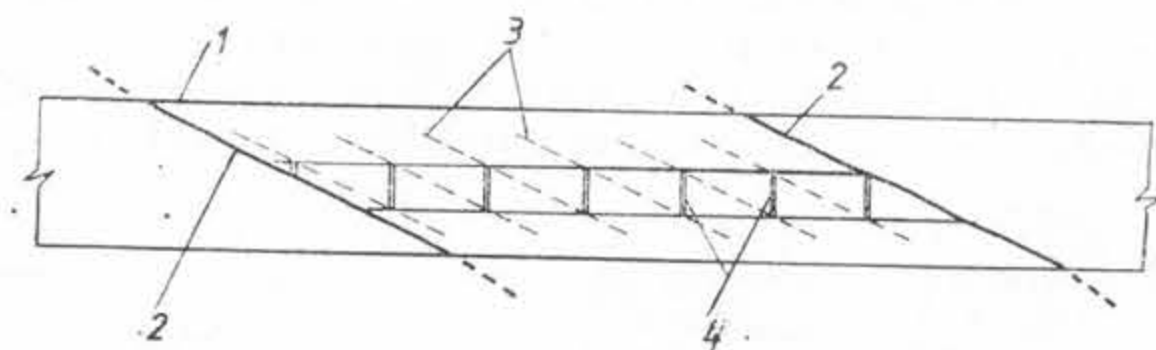


Fig. XII.27. Probarea unui corp de substanță minerală utilă cu înclinare mică într-o galerie de acces:

1—peretele galeriei; 2—limita geologică a corpului de substanță minerală utilă; 3—linii paralele la limitele corpului; 4—probe brazdă.

Metodologia acestei probări constă în a marca pe peretele galeriei transversale două linii paralele orizontale, distanțate la 1 m una de cealaltă, linii ce delimitează intervalul de amplasare a probelor; acest interval se alege la o înălțime convenabilă de lucru, după care se pornește probarea de la limita zăcămintului, prin marcarea unei probe verticale,

iar de la capătul de jos al brazdei se duce o paralelă la limita geologică a corpului care intersectează linia ce delimitează intervalul de probare, loc de unde se marchează a doua probă și așa mai departe. Și în acest caz se poate face o separare în probarea intercalațiilor sterile.

Pentru corpurile de dimensiuni mari în toate direcțiile (stockwerk, metasomatice de contact etc.) probele se amplasează pe unul din pereții galeriei, iar în porțiunile unde se intersectează două galerii probele se amplasează pe tavanul galeriei (fig. XII.28). La aceste tipuri de mineralizații se disting două aspecte de care trebuie ținut seama: 1) dacă corpul are limită netă cu roca înconjurătoare (nemineralizată) probele se amplasează până la limită (fig. XII.28, *a*); 2) dacă corpul nu are limită netă între partea mineralizată și cea nemineralizată, se probează până când macroscopic roca nu mai este interesantă (fig. XII.28, *b*).

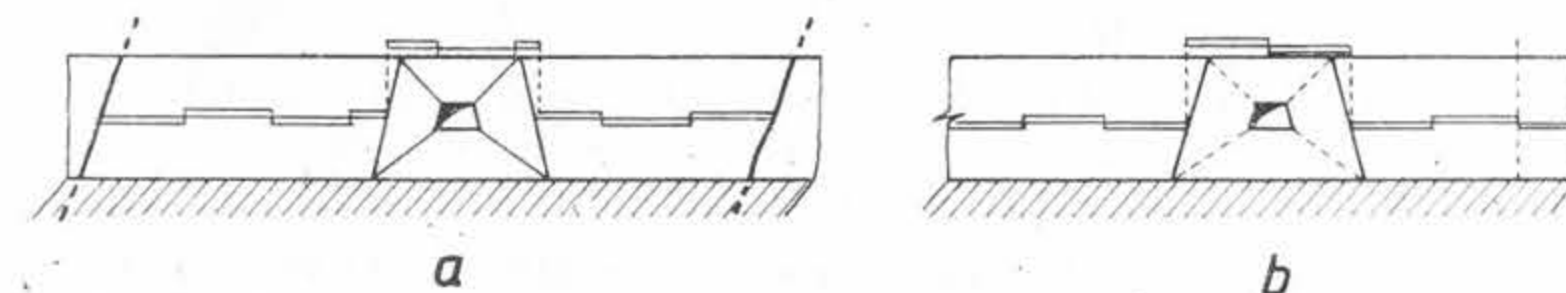


Fig. XII.28. Amplasarea brazdelor de probare în cazul unui corp de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

Metoda de probare prin brazde răzuite se aplică și în cazul explorării corpurilor de substanțe minerale utile cu galerii și plane înclinate, după cum urmează:

— la zăcămint de grosime mică (< 2 m) probele se pot recolta din tavan — atât în mod continuu cât și discontinuu (fig. XII.29, *a* și *b*) — din frontul galeriei sau planului înclinat (fig. XII.29, *c* și *d*);

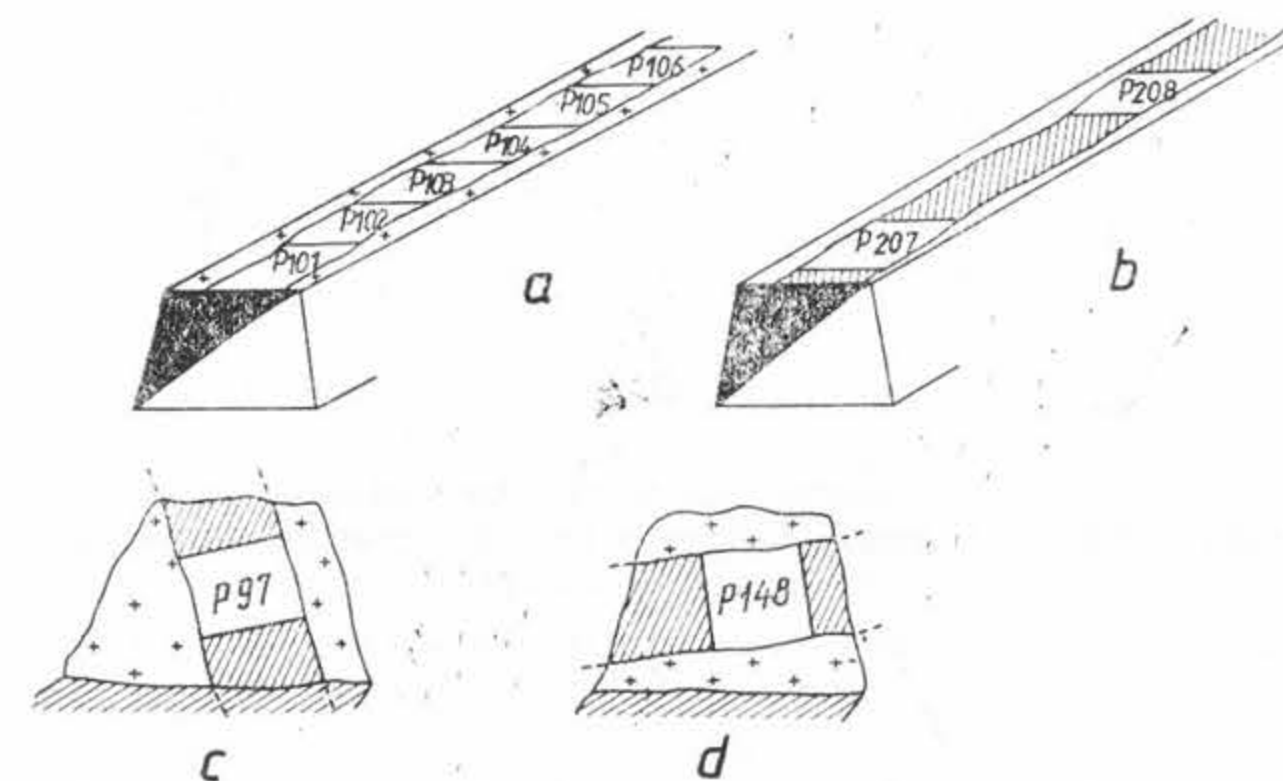


Fig. XII.29. Probarea prin brazde răzuite, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară, explorate cu galerii sau plane înclinate.

— la corpurile de dimensiuni mari (tabulare, stockwerk, lentiliforme etc.), probarea se face pe pereți; dacă mineralizația este foarte neuniformă se probează continuu

(fig. XII.30, *a*), iar în cazul unei mineralizații neuniforme probare ase face discontinuu (fig. XII.30 *b*).

Avînd în vedere avantajele probării prin brazde răzuite față de cea prin brazde propriu-zise, se recomandă folosirea ei de cite ori este nevoie și mai ales cînd nu poate fi înlocuită cu o altă metodă mai avantajoasă din punct de vedere al costului dar întotdeauna decizia să fie luată în urma unor încercări experimentale.

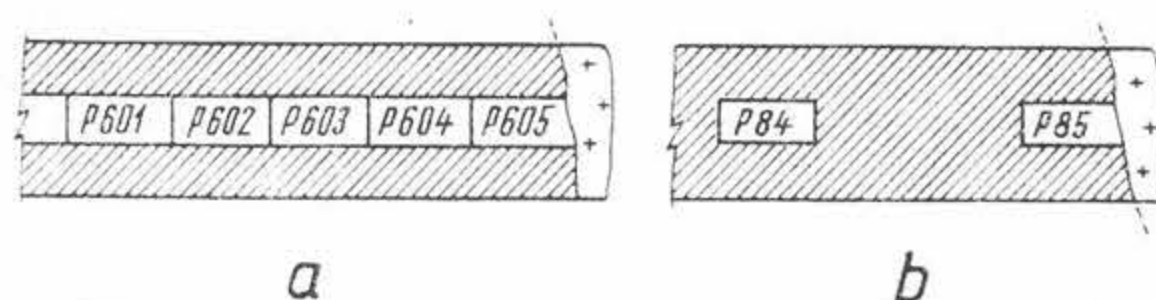


Fig. XII.30. Probarea prin brazde răzuite, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

Probarea prin puncte este o metodă care se aplică la toate tipurile de zăcăminte de minerale utile, în funcție de forma corpului și de gradul de uniformitate a substanței minerale utile.

Pentru corpurile tabulare de grosime mică probarea se poate face din frontul galeriei, (fig. XII.31) sau din tavanul acesteia (fig. XII.32). Se alege prima sau a doua situație în funcție de modul în care probarea poate sau nu să fie inclusă în ciclograma de săpare. Aceasta nu poate fi inclusă întotdeauna în ciclograma de săpare din două motive: 1) reduce viteza de înaintare; 2) nu se poate repeta probarea în același loc.

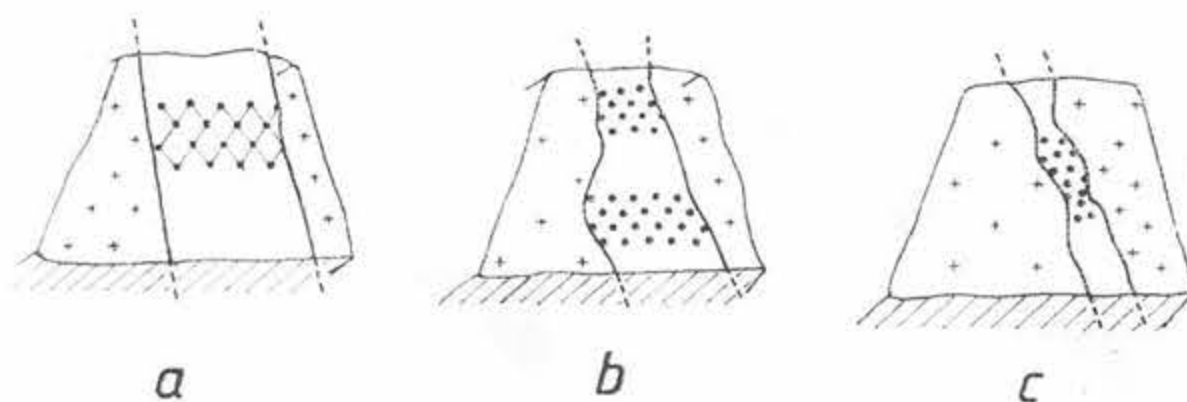


Fig. XII.31. Probarea corpului de substanță minerală utilă prin metoda punctelor, în frontul unei galerii direcționale:

a — corp de grosime medie fără variații de grosime; *b* — corp cu variații de grosime; *c* — corp de grosime mică.

În cazul în care probarea se face din tavanul galeriei, aceasta poate avea un aspect continuu (fig. XII.32 *a*) — cînd avem variații mari ale mineralizației pe direcția corpului, sau la intervale discontinuu, mari — cînd nu se sesizează variații mari ale mineralizației pe direcția de înaintare a galeriei (fig. XII.32, *b*).

Probarea din pereții galeriilor sau a planelor înclinate poate îmbrăca o serie de aspecte, la fel ca și în cazul probării prin brazde, astfel: în cazul corpurilor tabulare de

grosime mare și înclinare mare (fig. XII.33) probarea se face pe unul din pereții galeriei respectîndu-se rețeaua de probare și, mai precis, probarea continuă (fig. XII.33, *a*): cînd avem de-a face cu intercalații sterile sau intercalații cu alt tip de mineralizație se aplică aceeași tehnică de probare ca în cazul probării prin brazde (fig. XII.33, *a, b, c*), iar cînd intercalația sterilă nu poate fi separată în procesul exploatării trebuie avut grijă ca proporția de brazde parțiale să fie în funcție de grosimea corpului de mineralizație.

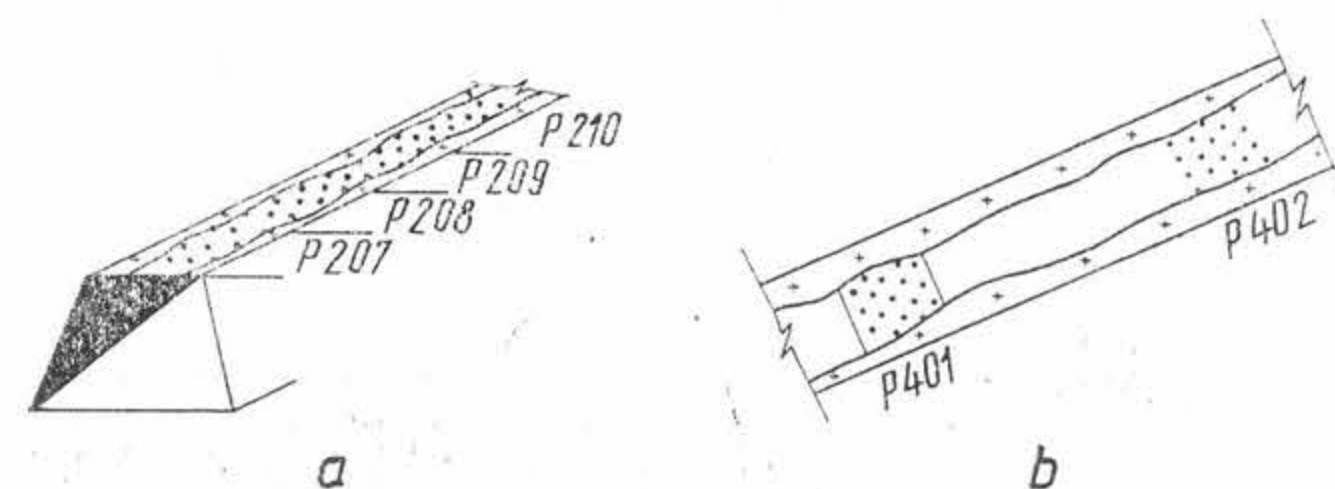


Fig. XII.32. Amplasarea probelor parțiale în tavanul galeriei, în cazul explorării corpurilor de substanță minerală utilă de grosime mică.

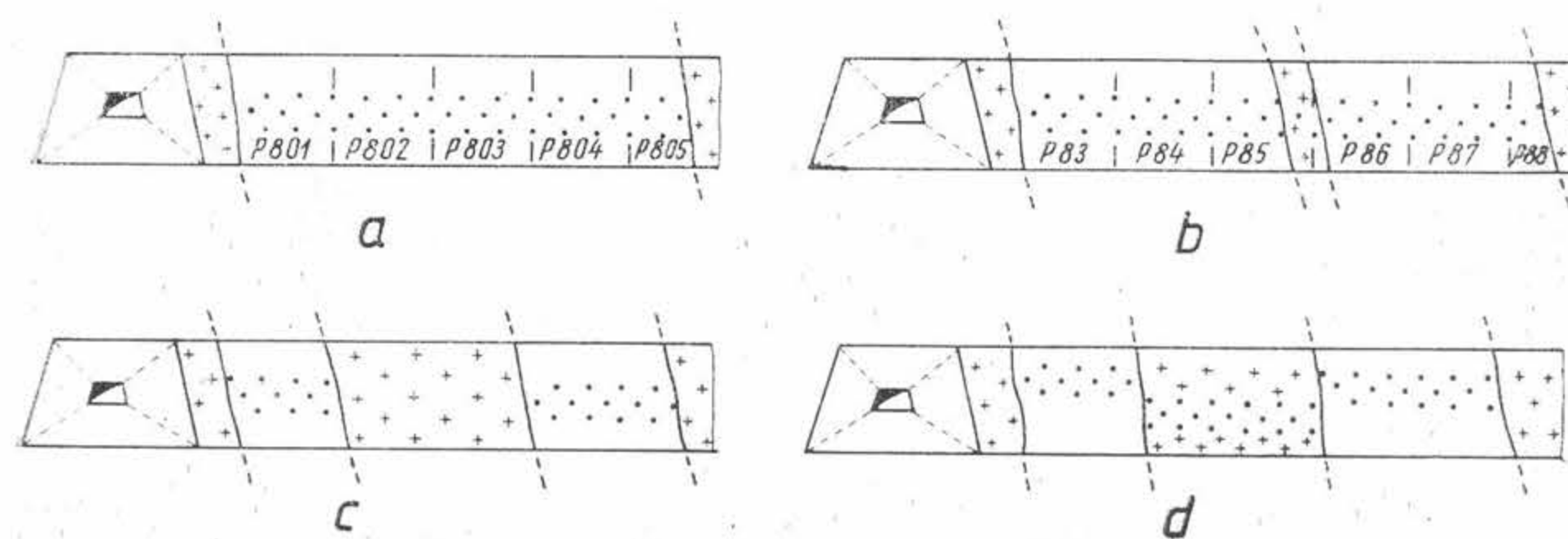


Fig. XII.33. Amplasarea probelor punctiforme în galeriile de explorare a corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime mare:

a — mineralizație compactă; *b* — mineralizație cu intercalație sterilă inseparabilă în procesul exploatării; *c* — mineralizație cu intercalație sterilă sperabilă în procesul exploatării; *d* — două dipuri de mineralizație care pot fi exploatate separat.

În cazul corpurilor mineralizate de dimensiuni mari în toate direcțiile (stockwerk, lentile etc.), probele parțiale se prelevează din pereții galeriilor ce explorează corpul, probarea îmbrăcînd două aspecte: 1) dacă mineralizația are o oarecare variație în planul de orizont, se probează în mod continuu (fig. XII.34, *a*); 2) cînd mineralizația este foarte uniformă probele se pot preleva în mod discontinuu (fig. XII.34, *b*); înainte de a aplica o variantă sau alta trebuie verificată variația mineralizației, iar dacă nu sîntem siguri de acest lucru ne limităm la prima variantă.

În cazul corpurilor de formă tabulară cu grosime mică și înclinare mică sau orizontale explorate cu plane înclinate și galerii direcționale, probele parțiale se pot preleva din frontul galeriei sau planului înclinat (fig. XII.35, a) sau din unul din pereții lucrării

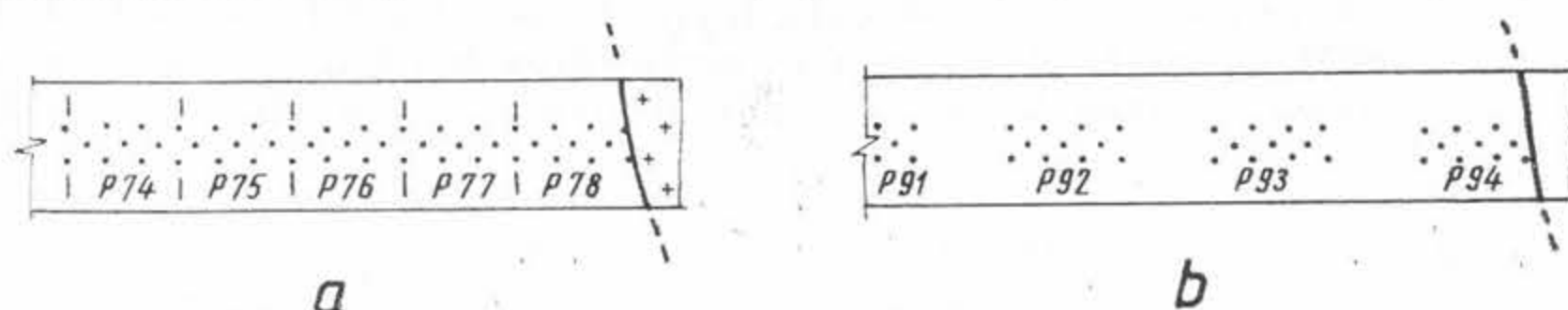


Fig. XII.34. Amplasarea probelor punctiforme în pereții galeriei, cazul corpurilor de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

miniare (fig. XII.35, b). Se recomandă prelevarea din pereți, deoarece acest mod de probare nu influențează negativ viteza de înaintare a lucrării respective și este mult mai comodă pentru persoana care execută operația de probare.

Probele parțiale, în cazul metodei punctelor, se pot recolta fie sub formă de eșantioane de dimensiuni reduse și masă cuprinsă între 10 și 50 g, fie din găuri de mină (se mai numește și metoda găurilor de mină).

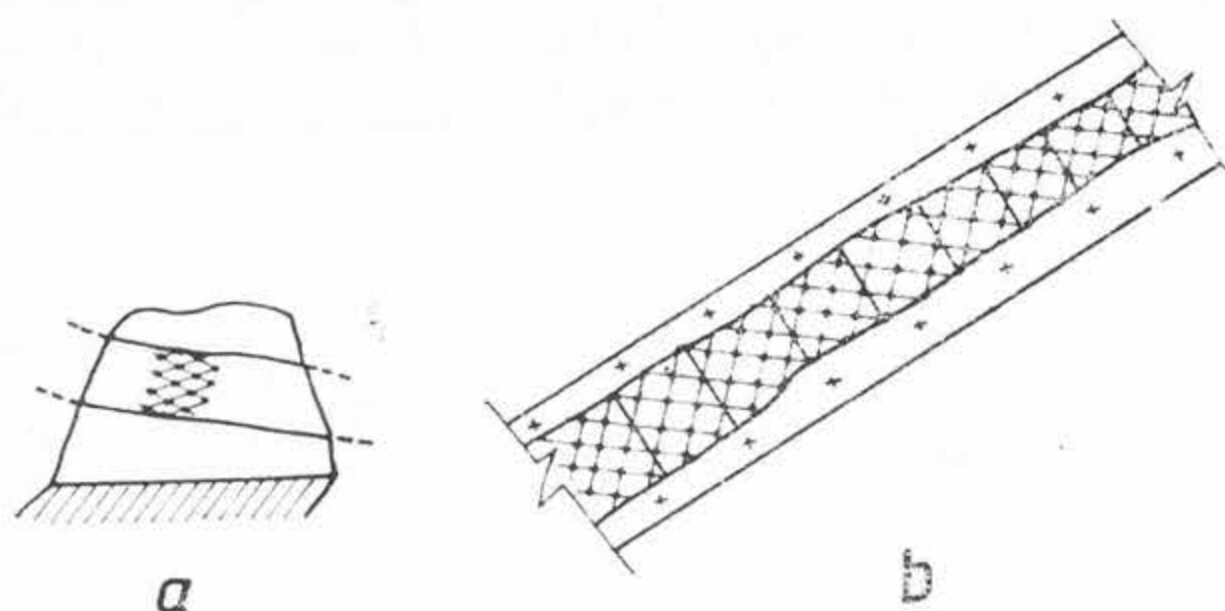


Fig. XII.35. Amplasarea probelor parțiale în galerie sau plan înclinat, în cazul explorării unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară cu înclinare mică sau orizontal și grosime mică.

În cazul în care materialul probei parțiale provine din găuri de mină, acesta se prezintă fie sub formă umedă, fie sub formă uscată. Trebuie acordată o foarte mare atenție modului de colectare a acestui material (se vor evita pierderile), deoarece se influențează foarte mult reprezentativitatea probării. Dispozitivele de probare sînt tratate pe larg în „Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile” de D. Sandu et al.

Probarea prin puncte este comparabilă cu probarea prin metoda brazdelor propriu-zise sau a celor răzuite, din punct de vedere al reprezentativității probării pentru un

număr destul de mare de corpuri de substanțe minerale utile. Acest mod de probare are operativitate foarte mare, în comparație cu metoda brazdelor, la același grad de reprezentativitate.

4. METODICA PROBĂRII ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE EXPLORATE CU FORAJE

Ca urmare a utilizării pe scară tot mai mare a forajelor în explorarea geologică, utilizare care se impune datorită eficienței economice tot mai mari (prin reducerea timpului de obținere a informațiilor și a costului mai scăzut în comparație cu lucrările miniere), trebuie acordată o mare atenție probării substanței minerale utile în acest tip de lucrări.

Pentru îndeplinirea condițiilor unei probări cât mai corecte se atrage atenția asupra responsabilității care revine persoanelor implicate atât în recoltarea materialului de probă, cât și asupra probării acestuia, ca urmare a inconvenientelor care le are explorarea cu foraje, inconveniente cum ar fi:

- densitatea punctelor de explorare este limitată, totodată și a punctelor de probare, din cauza condițiilor de teren (geomorfologice și tehnico-economice);
- repetabilitatea probării nu se poate face decât în cazul executării unei noi lucrări;
- se pot introduce erori mari ca urmare a adaosurilor și a pierderilor de substanță minerală utilă;
- în cazul corpurilor tabulare cu grosimi mici și la un recuperaj mic, probarea pe tipuri de mineralizație nu mai este posibilă;
- când mineralizațiile au variații mari și foarte mari a componentilor utili, nu se poate obține o precizie foarte mare, indiferent de numărul de foraje;
- traversarea corpurilor de formă tabulară nu este posibilă întotdeauna după grosimea normală;
- la mineralizații cu durtate mică, recuperajul, de regulă, este scăzut, lucru ce conduce la influențarea negativă a reprezentativității;
- întocmirea documentațiilor geologice se face în cea mai mare parte pe baza materialului extras din gaura de sondă etc.

Proba, în cazul explorării cu foraje, poate fi prelevată numai din carotă, carotă + detritus ori numai din detritus.

Materialul obținut în urma probării se poate folosi pentru determinări mineralogice, petrografice, chimice și chiar tehnologice în faza de laborator.

În continuare, se tratează problema metodicii probării în funcție de modul de obținere a materialului care face obiectul probării.

4.1. PROBAREA ÎN CAZUL EXPLORĂRII CU FORAJE CU CAROTAJ MECANIC

Carotajul mecanic este mult folosit în cazul explorării substanțelor minerale utile, iar materialul obținut în vederea probării se prezintă sub formă de carote și detritus, urmînd ca o probă să fie constituită din întreg tronsonul de carotă (foraje cu diametru mic — executate din subteran) sau numai a unei părți din carotă (cazul forajelor cu diametru mare executate de la suprafață).

Probarea ca operație în sine, în cazul carotajului mecanic, impune o serie de etape cum ar fi:

- extragerea materialului de probat;
- spălarea materialului;
- verificarea recuperajului;
- extragerea materialului probă;
- ambalarea și etichetarea probei.

Extragerea materialului de probat este o operație foarte importantă, deoarece de modul cum este extras acesta depinde, în bună parte, reprezentativitatea probării în sine.

Operația de extragere a materialului de probat constă în dislocarea din talpa forajului a materialului prin care a traversat forajul, material care adus la suprafață poate să se prezinte sub trei aspecte, în funcție de caracteristicile rocilor traversate, și anume: carotă, carotă + detritus sau numai sub formă de detritus. Prima situație este cea mai avantajoasă, iar pe măsură ce ne situăm în următoarele forme (carotă + detritus, sau detritus), situația este din ce în ce mai dezavantajoasă. Forma sub care apare materialul de probat impune verificarea de fiecare dată a recuperajului.

Avînd în vedere forma de prezentare a materialului de probat la gura găurii de sondă, în continuare se prezintă cîteva aspecte privind obținerea carotelor și a detritusului.

Obținerea carotelor se face prin folosirea unor dispozitive care se montează la partea inferioară a garniturii de foraj numite *carotiere*. Carotierele sînt de două tipuri: *normale* și *speciale*. În categoria carotierelor normale intră carotierele *simple* și *duble*, iar în categoria carotierelor speciale intră carotierele *pentru extras carote orientate*, *carotierele cu tub interior ireductibil* și *extractibil prin prăjini*, *carotiere de luat probe din pereții găurii de sondă* etc. Carotele se obțin în cazul forajului mecanic rotativ și sau formă cilindrică cu dimensiunile în funcție de dimensiunile carotierei și a durității formațiunilor geologice pe care le străbate aceasta.

În cazul explorării unui corp de substanțe minerale utile, se recoltează carote și din formațiunile pe care le traversează forajul pînă la mineralizație, obținîndu-se în acest mod o serie de informații cu privire la structura geologică. Cînd se carotează substanța minerală utilă a corpului, se iau cîteva măsuri în funcție de situația concretă, cum ar fi:

- în apropierea corpului se fac observații atente asupra fluidului de foraj și a carotelor din roca înconjurătoare;
- se oprește temporar forarea pentru pregătirea carotării, pregătire care cuprinde:
 - notarea adîncimii de interceptare a corpului;
 - spălarea tălpii forajului (în roci dure);
 - consolidarea găurii de sondă în cazul rocilor slab consolidate;
- în cazul corpurilor de formă tabulară de grosime mică se carotează și rocile înconjurătoare, pentru a se putea delimita cît mai bine corpul de substanță minerală utilă;

— pentru corpurile de formă tabulară de grosime medie sau mare pot apare două situații: 1) cînd mineralizația prezintă zonalități, se carotează separat; 2) cînd mineralizația este compactă se stabilesc marșuri egale de pînă la 2 m lungime;

— la corpurile de dimensiuni mari în toate direcțiile se pot stabili marșuri pe tipuri de mineralizație sau marșuri egale (de 1 m) cînd mineralizația este compactă;

— după extragerea carotei sau a fragmentelor de carotă se spală carotiera, operație care se repetă după fiecare marș de carotare;

— se va stabili cu precizie intervalul carotat și se va trece la stabilirea recuperajului.

Stabilirea recuperajului (r) se face la fiecare marș de înaintare, folosindu-se următoarea formulă:

$$r = \frac{l_c}{l_i} \cdot 100 [\%]$$

în care: l_c reprezintă lungimea carotei obținute la gura găurii de sondă;

l_i — lungimea intervalului carotat.

În România se admite, conform normelor în vigoare, un recuperaj de minimum 80%.

Cînd l_c este egală cu l_i se obține un recuperaj foarte bun (caz ideal), dar de regulă, putem să ne situăm în prezența unei carote incomplete sau chiar să lipsească din tubul carotier, fenomen cauzat de:

- prezența unei mineralizații cu duritate mică;
- prezența unei mineralizații foarte fisurate;
- șocul hidraulic produs de fluidul de foraj asupra carotei etc.

În vederea obținerii unui recuperaj cît mai bun se impune a se lua o serie de măsuri cum ar fi:

- marșurile să fie cît mai scurte, de pînă la 2 m, pentru prevenirea frecării carotei de tubul carotier;
- turația garniturii de foraj să fie în funcție de formațiunile carotate;
- la traversarea corpului mineralizat se alege un tub carotier cît mai mare (în limitele găurii de sondă);
- folosirea carotierelor duble în cazul traversării formațiunilor fisurate sau sfărîmate tectonic;

— reducerea la minimum a circulației fluidului de foraj pentru evitarea spălării carotei (forajul uscat se recomandă la formațiuni afinate);

— în cazul traversării formațiunilor ușor dizolvabile se recomandă ca fluidul să aibă aceeași componenți cu corpul mineralizat;

— la ruperea carotei din talpă se recomandă folosirea dispozitivului pană etc.

În cazul obținerii unui recuperaj mic ($< 80\%$) se trece la recoltarea detritusului

După obținerea carotei, aceasta se spală cu jet de apă pentru a se îndepărta pelicula de fluid de foraj, iar după uscare se așază în lădițe de probe. Lădițele au lungini de circa 1 m, înălțimea mai mare decît diametrul carotei și lățimea cît să permită așezarea a 5—6 tronsoane paralele. Pentru evitarea frecării carotelor între ele, lăzile de probe sînt compartimentate.

Așezarea carotelor se face în ordinea extragerii, iar intervalul de carotare se va menționa pe marginea fiecărui compartiment.

Dacă o probă este mai lungă decât lungimea lădiței (unui compartiment) se continuă așezarea în compartimentul următor, dar probele despărțindu-se la capete prin bucăți de scindură.

În cazul unui recuperaj acceptat se trece la documentarea geologică și în final la probarea propriu-zisă a carotelor.

Lăzile se numerotează la capete în ordinea în care conțin și carotele. Obținerea detritusului se poate impune din două motive și anume: datorită nerealizării unui recuperaj corespunzător ($< 80\%$) sau datorită naturii substanței minerale utile.

Detritusul reprezintă partea solidă de substanță minerală utilă rezultată din spațiul inelar realizat de carotieră, la care se mai adaugă și partea solidă din tubul carotier.

Recuperarea detritusului se impune și în cazul unui recuperaj acceptat, deoarece de cele mai multe ori în timpul carotajului se poate produce o scădere a conținutului în componenți utili a materialului din carotă, deci implicit introducerea unei erori mari la calculul rezervelor geologice.

Una din problemele importante ale obținerii detritusului este recuperarea cât mai bună a acestuia. În acest sens se folosesc mai multe metode dintre care menționăm: 1) cîntărirea detritusului uscat obținut și compararea masei acestuia cu masa volumului teoretic; 2) compararea cantității de apă introdusă în sondă cu cea extrasă. La o pierdere mai mare de 20% se impune tubarea găurii de sondă.

Detritusul se recoltează de pe același interval de pe care s-a extras și carota (material de probat format din carotă + detritus) sau detritus din intervalul în care ne-am propus să efectuăm probarea.

Recoltarea detritusului se poate face cu ajutorul unui tub colector montat la partea superioară a tubului carotier — în cazul cînd circulația se face cu apă sau cu fluid cu densitate mică — sau a unei instalații de captare a detritusului cu hidrociclon submersibil — în cazul fluidelor de foraj cu densitate mare; această instalație este folosită în mod frecvent în procesul de explorare.

Detritusul astfel obținut va purta un act de identitate corespunzător intervalului de probare.

Probarea carotei și a detritusului se impune în funcție de modul cum se prezintă materialul obținut din intervalul de probare; dacă materialul este sub forma unei carote cu recuperaj $> 80\%$ se probează numai carota; dacă materialul obținut este sub formă de carotă și detritus se probează amindouă componentele, iar dacă avem numai detritus se probează numai acesta.

a) *Probarea mineralogică* se aplică la carote, deoarece în cazul detritusului elementele componente au dimensiuni prea mici pentru a putea fi supuse studiului microscopic. În cazul carotelor, probarea constă în detașarea cu ciocanul sau cu dalta a unei porțiuni mici, în special din partea de carotă rămasă ca martor în cazul probării (metoda înjumătățirii axiale).

La obținerea probelor mineralogice se are în vedere următoarele:

- proba sau mai precis secțiunea subțire sau șlefuită nu se alege din porțiunea unde structura a fost modificată ca urmare a carotajului;
- probele pot reprezenta tipuri reprezentative de mineralizație sau de rocă sterilă;
- pe materialul probă se va marca exact locul unde trebuie să se execute secțiunea;
- în actul de identitate al probei se va marca exact adîncimea de prelevare etc.

Probarea mineralogică se recomandă deoarece ne dă o imagine cât mai bună asupra compoziției mineralogice și petrografice a mineralizației; se aplică în special în cazul explorării preliminare sau în extindere, urmînd ca datele obținute să servească explorării de detaliu.

b) *Probarea pentru determinarea caracteristicilor chimice a substanței minerale utile* (probarea chimică), în cazul carotelor, se face prin trei metode mai utilizate în practică și anume:

- metoda înjumătățirii axiale;
- metoda brazdelor după generatoarele carotelor;
- metoda reținerii integrale a carotelor.

Metoda înjumătățirii axiale constă în spargerea carotei după un plan axial, operație care se face fie manual fie mecanic.

Înjumătățirea manuală a carotei se face cu dalta și ciocanul, metodă care are o largă aplicabilitate și în prezent, deși înjumătățirea corectă nu se face decât foarte rar.

Metodologia despicării manuale după un plan axial constă în așezarea carotei pe o placă sau șină, după care cu dalta și ciocanul se urmărește planul axial, care în prealabil a fost trasat pe suprafața carotei (fig. XII.36).

După fiecare probă recoltată se curăță locul de probare pentru a evita contaminarea probei următoare.

Așa cum s-a mai menționat, nu întotdeauna despicarea se face după planul materializat pe carotă, deoarece de cele mai multe ori carota are prinse în ea și fisuri cu minerale de neoformație cu duritate mică, iar despicarea în cazul șocului tinde să se facă după planul de fisurație.

Din motivul menționat mai sus și pentru a mări productivitatea acestei metode de probare se folosesc pe scară tot mai largă dispozitive mecanice, la care tăierea după planul axial se face cu discuri cu inserții de diamante.

În urma aplicării acestei metode se obțin două jumătăți de carotă (fig. XII.37) una ca probă martor, iar alta proba pentru analize chimice.

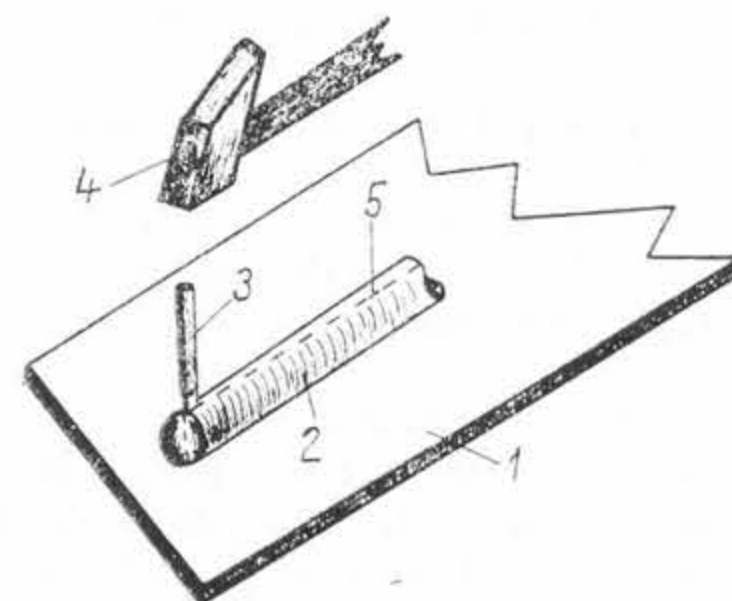


Fig. XII.36. Modul de despicare manuală a carotei după planul axial:
1 — placă metalică; 2 — carotă; 3 — dalta;
4 — ciocan; 5 — plan axial.

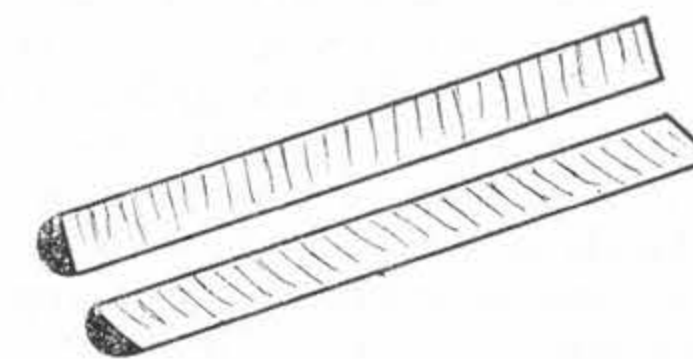


Fig. XII.37. Carotă despicată după un plan axial.

Metoda brazdelor după generatoarele carotelor constă în recoltarea materialului probă dintr-o brazdă sau mai multe, în funcție de gradul de uniformitate a componentelor utili, brazde recoltate după generatoarele carotelor (fig. XII.38).

Prelevarea brazdelor se face mecanizat cu discuri acționate mecanic. Se pot recolta brazde din mai multe carote simultan, mărind astfel gradul de operativitate al probării.

Probarea prin brazde prezintă o serie de avantaje în comparație cu metoda înjumătățirii axiale, cum ar fi:

- gradul de reprezentativitate mai ridicat, dată fiind adâncimea constantă a brazdei;
- posibilitatea reprobării carotei;
- se reduc substanțial cheltuielile de prelucrare a probei, deoarece materialul probă este sub formă de pulbere;
- productivitatea mare ca urmare a mecanizării complete a operației;
- se obține o greutate a materialului probă de circa 150–200 g;
- partea rămasă din probă este mult mai mare în comparație cu cea de la prima metodă, având astfel posibilitatea măririi numărului de cercetări etc.

Metoda de probare prin reținerea întregii carote se aplică numai în cazul forajelor cu diametru mic, de regulă în cazul celor executate din subteran.

Această metodă constă în reținerea întregii carote de pe lungimea de probare (circa 1 m). Se aplică numai în cazul forajelor executate din subteran, deoarece are marele dezavantaj că nu oferă posibilitatea obținerii de probe martor.

Probarea detritusului se face și în cazul în care proba se compune din carotă + detritus și în cazul în care se compune numai din detritus.

După recoltarea detritusului, acesta se curăță de elemente metalice (provenite din uzura alicelor sau a coroanelor), curățire care se poate face cu ajutorul unui magnet.

În cazul probelor carotă + detritus, materialul care se adaugă la carotă trebuie să aibă același act de identitate. Dacă cantitatea de detritus este de câteva kilograme, acesta se împachetează împreună cu carota de pe același marș.

Când cantitatea de detritus este mare, se constituie proba de detritus prin metoda sfertuirii, avându-se în vedere faptul că granulația este destul de mică.

Indiferent de forma sub care este materialul probă, acesta se împachetează în săculeți și împreună cu actul de identitate se expediază la laboratorul de analize.

c) Probarea tehnică se aplică destul de rar și mai ales în cazurile când nu există posibilitatea de a obține informații din lucrări miniere.

În cazul în care se impune și acest mod de probare, probele se iau numai din carote. În funcție de scopul probării tehnice, probele (porțiuni centimetrice de carote) se parafinează, se pun în tuburi închise ermetic sau pur și simplu se pun în pungi de hirtie.

De regulă, acest mod de probare se aplică în explorarea preliminară, dar și în explorarea de detaliu, când nu avem lucrări miniere.

d) Probarea tehnologică (faza de laborator) constă în comasarea materialului rămas de la determinările chimice, material provenit din mai multe tronsoane de probare, dar în funcție și de perspectiva de valorificare a mineralizației.

Din foraje se recoltează probe tehnologice numai pentru faza de laborator, ca urmare a cantității mici de material care se obține.

Probele tehnologice, faza de laborator, pot conține material dintr-un singur foraj sau dintr-un grup de foraje, dar din același tip de mineralizație.

Acest mod de probare se aplică numai în explorarea preliminară și rămâne numai cu caracter informativ, ca urmare a gradului mic de reprezentativitate.

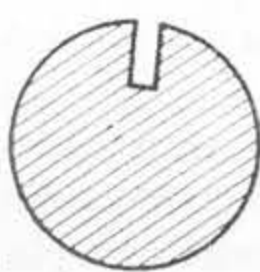


Fig. XII.38. Secțiune transversală printr-o carotă probată prin metoda brazdelor, după generatoarea acesteia.

4.2. PROBAREA ÎN CAZUL FOLOSIRII ÎN EXPLORARE A FORAJULUI MECANIC PERCUTANT

Forajul mecanic percutant are din ce în ce mai puține întrebuințări în practica explorării geologice. Se folosește mai mult în cazul corpurilor de dimensiuni mari și cu o distribuție cât mai uniformă a componentilor utili și mai precis în explorarea în extindere a acestor corpuri.

Diametrul găurii de sondă este mare, începând de la 100 mm până la 600 mm, în raport cu acest diametru fiind și masa materialului de probat extrasă pe un tronson de 1 m, masă care poate să varieze de la zeci de kilograme până la sute de kilograme.

În vederea unei probări cât mai reprezentative, trebuie să se țină seama de o serie de factori cum ar fi:

- probele se iau pe intervale egale (de 1,0–1,5 m) în cazul corpurilor cu mineralizație omogenă și inegală când într-un corp apar zone cu diferite omogenități și exploatarea s-ar putea face selectiv; intervalul de probare se stabilește prin încercări experimentale;
- trebuie acordată mare atenție pierderii de detritus, deci unei modificări a raporturilor între minerale din material și cele din mineralizație. În acest sens se face o verificare permanentă prin compararea masei detritusului extras cu cea a detritusului rezultat din calculul teoretic;
- trebuie luate toate măsurile în vederea susținerii găurilor de sondă, când este cazul, pentru a împiedica contaminarea materialului de probă;
- înainte de a se trece la recoltarea unei probe, se spală bine talpa sondei până ce apa devine limpede și apoi se trece la operația de recoltare a materialului de probă.

Materialul obținut de pe tronsonul în care urmează a se efectua probarea se prezintă sub formă de turbureală, material care se aduce la suprafață cu lingura de lăcărare și se pune într-o ladă metalică. Partea solidă din turbureală, așa cum s-a mai precizat, poate avea o masă de la zeci de kilograme până la sute de kilograme. Pentru analizele chimice este nevoie de cantități de cel mult câteva kilograme. Având în vedere acest lucru și faptul că partea solidă din turbureală are dimensiuni mici, acest material se poate reduce chiar în faza de turbureală.

Probarea în cazul forajului mecanic percutant are în final două etape distincte: una de extragere a materialului de probat, iar a doua de reducere a acestuia, deci probarea propriu-zisă.

Având în vedere forma sub care se prezintă materialul de probat, în cazul forajului percutant se pot recolta trei tipuri de probe:

- probe mineralogice de analiză sub lupa binoculară;
- probe chimice;
- probe tehnologice.

Probele tehnologice se pot recolta pentru încercări în fază de laborator și în fază pilot și se compun din materialul extras de pe un tronson de probare, dintr-un foraj sau de pe anumite porțiuni de mineralizație.

Probele chimice sînt cele mai frecvente și, de regulă, se prelevează ori de câte ori se execută un asemenea foraj.

Probarea în cazul determinărilor chimice se face prin două procedee, și anume: prin trecerea turburelei printr-un set de divizoare cu jgheaburi și prin puncte cu un dispozitiv sondă.

— Procedeele de trecere a turburelei prin jgheaburi divizoare este destul de des folosit și constă în trecerea turburelei din lada metalică prin jgheaburi de dimensiuni din ce în ce mai reduse. Jgheaburile sînt montate în așa fel încît după prima trecere turbureala

este împărțită în două părți egale, iar după ultimul set de jgheaburi se obține proba pentru analize și proba martor.

— *Procedeu prin puncte* constă în probarea cu ajutorul *dispozitivului-sondă* în lădița de colectare a tulburelii, în circa 5–8 puncte distribuite cât mai uniform pe suprafața lăzii. Dispozitivul sondă se compune dintr-o țevă prevăzută cu un dispozitiv de închidere la partea inferioară după ce s-a prelevat proba punctiformă, țevă care prin introducerea în poziția verticală în lada cu tulbureală reține o parte din material. Proba finală se compune din circa 5–8 probe punctiforme.

La recoltarea probelor prin puncte se au în vedere următoarele etape:

- omogenizarea tulburelii până la fundul lăzii;
- introducerea dispozitivului-sondă în poziție verticală și cu o mișcare cât mai rapidă;
- închiderea dispozitivului (la partea inferioară);
- ridicarea cât mai rapidă a dispozitivului;
- golirea dispozitivului într-un vas care conține proba;
- uscarea probei prin evaporarea apei (naturală sau artificială), avându-se în vedere faptul că dacă se folosește evaporarea artificială, temperatura nu trebuie să depășească 100–105°C.

La adâncimi mici ale găurii de sondă, în loc de apă se poate folosi aerul comprimat, dar în acest caz trebuie avută mare atenție la recuperarea prafului.

4.3. PROBAREA ÎN CAZUL FOLOSIRII FORAJULI MANUAL, SEMIMECANIC, ROTATIV ȘI ROTATIV-PERCUTANT ÎN EXPLORAREA GEOLOGICĂ

Forajul manual și în ultima vreme forajul semimecanic uscat (fără fluid de spălare) este din ce în ce mai mult folosit în explorarea geologică a zăcămintelor situate la mică adâncime (< 300 m), zăcămintele de caolin, argile, nisipuri, pietrișuri, diatomite, bentonite etc. Diametrul găurii de sondă este cuprins între 600 mm (diametru inițial) și 50 mm (diametru final). La executarea unui asemenea foraj, de regulă, se folosesc coloane telescopice, începându-se de la diametru mare și în final ajungându-se la diametre mici.

Tronsonul de probare este cuprins între 0 și 3 m și, de regulă, corespunde cu un marș de înaintare. Probele au o masă de la câteva kilograme până la zeci de kilograme.

În cazul forajului manual probele se iau cu următoarele instrumente, fiecare instrument corespunzând unui anumit tip de rocă, astfel:

— *burghiul* se folosește la forarea în cazul argilelor sau a altor roci cu friabilitate ridicată, iar proba se obține odată cu scoaterea burghiului; materialul care se desprinde de pe burghiu se așază pe o platformă metalică sau pe o scândură;

— *borsapa de foraj* este tot un instrument de săpare și curățire a găurii de sondă, utilizându-se în cazul terenurilor afinate (nisipuri argiloase, nisipuri etc.); prin rotirea sapei antrenată de garnitura de prăjini, materialul (proba) este desprins de piesa tăietoare de la baza sapei și introdus în corpul sapei, urmînd a fi ridicat la suprafață;

— *lingura de lăcărît* se folosește pentru aducerea materialului la suprafață în cazul în care formațiunea este situată sub nivelul hidrostatic sau cînd s-a făcut o forare hidrolică; materialul probă intră în corpul lingurii (cilindru) pe la partea inferioară, unde aceasta este prevăzută cu o clapetă care la coborîre stă ridicată (deci permite intrarea tulburelii în corpul lingurii), iar la ridicare stă închisă.

Proba este sub formă de tulbureală și parte grosieră, fapt pentru care materialul se pune într-un vas pentru decantare. Din materialul umed se ia proba, ca și în cazul forajului mecanic percutant.

Probele, în cele trei cazuri de extragere, sînt probe tulburate, iar materialul are compoziția medie a formațiunii din intervalul de probare.

Dacă se impune recoltarea de probe netulburate, atunci se folosește *ștuțul*, dispozitiv ce se montează la partea inferioară a garniturii de foraj.

Prin lăsarea garniturii libere ștuțul se înfige în formațiunea de probat (ca urmare a greutateii garniturii de foraj), iar prin ridicare la suprafață, fără rotirea garniturii, se obține proba netulburată, care este prinsă în interiorul ștuțului, ce se demontează și se parafinează, după care se expediază la laborator.

Deosebirea între forajul manual și cel semimecanic constă în modul de acționare a garniturii de prăjini.

Pentru evitarea impurificării probei, în toate cazurile posibile se încearcă înfigerea coloanei de tubaj pe cel puțin adîncimea unui tronson de probare, iar cînd se întîlnesc mai multe strate acvifere se izolează fiecare strat cu cîte o coloană, trecîndu-se la stratul următor cu o coloană mai mică.

Așa cum s-a mai menționat, o probă poate fi constituită din tot materialul dintr-un tronson de probare (cînd tronsonul corespunde cu marșul de înaintare) sau din probe parțiale cînd tronsonul de probare este străbătut prin mai multe marșuri — fiecare marș reprezentînd o probă parțială.

În cazul probelor parțiale, acestea se adună pe o platformă metalică sau din scîndură și dacă nu sînt necesare observații geologo-mineralogice pe probe parțiale, probele se comasează, se omogenizează, după care urmează reducerea pînă la o probă de cîteva kilograme, iar restul de material (de la ultima reducere) se pune în lăzi de probe și reprezintă proba martor.

Probele astfel obținute pot servi ca probe mineralogice, probe chimice, probe tehnice și probe tehnologice faza de laborator și chiar pilot.

Probarea în cazul forajelor manuale și semimecanice are marele avantaj că materialul are calități care nu diferă mult de cele din situ, ba mai mult, structura nu este afectată esențial ca urmare a sfărîmării materialului sau a ajungerii lui în contact cu fluidul de foraj.

Forajul manual și semimecanic se folosește mult în recoltarea probelor tehnice, deoarece are marele avantaj că se pot recolta probe netulburate și cu caracteristici tehnice asemănătoare cu cele din situ.

5. PRELUCRAREA PROBELOR GEOLOGICE PENTRU DETERMINAREA CONȚINUTULUI ÎN COMPONENTE UTILE ȘI DĂUNĂTORI

În vederea determinărilor calitative și cantitative a componentelor utili și dăunători dintr-o probă geologică (recoltată în urma explorării geologice), de masă inițială m , care de regulă variază de la cîteva sute de grame pînă la zeci de kilograme, trebuie să se supună proba la un număr de reduceri, ca în final să se obțină o masă finală de cîteva zeci de grame

pină la sute de grame (după unii autori), masă necesară pentru analize chimice, spectrografice etc. Cantitatea finală este în funcție de numărul de componente, de necesitatea unei probe martor (pentru analize de control intern și extern) și a unei probe duplicat.

Reducerea masei inițiale la o masă finală trebuie făcută în așa fel încât să nu se diminueze caracterul ei reprezentativ, adică, să se păstreze raportul cantitativ dintre mineralele componente. Această reducere se realizează printr-o serie de operații ca: sfărâmare, măcinare, cernere, omogenizare, reducere, operații în lanțuite și care reprezintă prelucrarea probelor.

Operația de prelucrare este cu atât mai complexă cu cât gradul de neomogenitate mineralogică și masa probei sînt mai mari.

Reducerea probei inițiale ar putea fi făcută și prin reducerea granulației probei pină la dimensiunile necesare pentru analize (0,1—0,07 mm), după care ar urma omogenizarea materialului obținut și, în final, reducerea lui prin înjumătățire pină la obținerea cantității necesare analizei. Acest mod de reducere are o serie de inconveniente (în special pentru probele de masă mare), cum ar fi:

- cheltuieli mari pentru mijloace tehnice;
- consum mare de energie;
- timp îndelungat pentru prelucrare.

Pentru înlăturarea acestor inconveniente, în practică se utilizează o serie de scheme de prelucrare a probelor, care au la bază formula lui Ccciott:

$$m = k \cdot d^2,$$

în care: k este o constantă ce depinde de tipul de minereu, fiind determinată experimental și tabelată, valoarea sa oscilînd între 0,02 și 1,00 (uneori chiar mai mult);

d — diametrul celor mai mari granule din cadrul probei.

Schemele de prelucrare a probelor urmăresc, în principal, cîteva aspecte cum ar fi:

- menținerea reprezentativității materialului probă în procesul reducerii acestuia;
- reducerea timpului de prelucrare a probei, ca urmare a capacității relativ mici

a aparaturii de laborator;

- reducerea costurilor.

Într-un caz concret, pentru o probă ai cărei parametri (m , d și k) se cunosc, se pot stabili:

- gradul de reducere: $r = m/m'$;
- gradul de sfărîmare: $q = d/d'$;
- numărul de reduceri n , care se poate stabili în funcție de r sau de q .

Gradul de reducere se poate stabili astfel:

- după prima reducere $r_1 = m/m_1 = 2 = 2^1$;
- după a doua reducere $r_2 = m/m_2 = 4 = 2^2$;
- după a treia reducere $r_3 = m/m_3 = 8 = 2^3$;
- după n reduceri $r_n = m/m_n = 2^n$.

de unde rezultă că numărul de reduceri n este egal cu puterea lui 2. În formulele de mai sus: m , d reprezintă masa și respectiv diametrul probei inițiale, iar $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$, $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ sînt parametrii probei reduse în etape diferite.

Pentru întocmirea unei scheme de prelucrare a unei probe se urmăresc următoarele etape:

a) Se verifică dacă proba (de masă m) se poate reduce fără a se modifica granulația minereului (d fiind diametrul maxim al fragmentelor). Pentru această verificare se calculează masa probei reduse, m_r , în funcție de diametrul maxim $d_r = d$, folosindu-se formula lui Ccciott ($m_r = k d_r^2$), iar în funcție de gradul de reducere, $r = m/m_r$ se ia o decizie sau alta după cum urmează:

- dacă $r \geq 2$ proba se poate reduce fără nici o prelucrare, o dată (dacă $r = 2$),

de două ori (dacă $r = 2^2$), de trei ori (dacă $r = 2^3$) etc. În funcție de r (raportul maselor), care poate fi cuprins între limitele: $2^n < r < 2^{n+1}$, iar n este un număr întreg și pozitiv, se obține numărul de reduceri care reprezintă puterea cea mai mică a lui 2;

— dacă $r < 2$ nu se admite reducerea probei fără a fi prelucrată, iar în această situație se trece la a doua etapă.

b) Întocmirea schemei de prelucrare a probei, care cuprinde mai multe faze, în funcție de aparatura laboratorului de prelucrare a probelor. Dacă se are la dispoziție următoarea aparatură:

— concasor cu fălci cu un diametru final de 8 mm;

— concasor cu valțuri cu un diametru final de 2,4 mm;

— concasor cu valțuri cu un diametru final de 1,4 mm;

— moară cu vâlătuci cu un diametru final 0,1 mm, schema prelucrării probei va fi cea din fig. XII.39, schemă întocmită după cum se arată în continuare. Deci, dacă proba nu se poate reduce fără prelucrare ($r < 2$), toată cantitatea de probă se trece prin primul aparat (concasorul cu fălci cu diametrul final de 8 mm), după care se calculează din nou masa m_1 la un diametru de $d_1 = 8$ mm și r_1 (teoretic) și se observă între ce limite variază valoarea lui r_1 ($2^{n_1} < r_1 < 2^{n_1+1}$), obținîndu-se în acest mod numărul de reduceri din prima fază (n_{1s}), fără a se diminua caracterul reprezentativ al probei.

După cele n_{1s} reduceri din prima fază (corespunzătoare primului aparat) se trece în faza a doua, care presupune trecerea materialului după a n_{1s} reduceri prin concasorul cu valțuri, care are diametrul final $d_2 = 2,4$ mm, iar în final se repetă raționamentul din prima fază, obținîndu-se numărul de reduceri din faza a doua, n_{20} .

La fel se procedează pentru concasorul cu valțuri cu diametrul final $d_3 = 1,4$ mm, iar cantitatea de material rezultată după a n_{3t} reduceri se prelucurează în faza a patra cu moara cu vâlătuci $d_4 < 0,1$ mm, urmînd să se procedeze la reduceri succesive, pină se obține cantitatea de material necesară pentru analiză (care este în funcție de numărul de componente de determinat și de tipul de analiză). Numărul de reduceri n_{4p} este egal cu numărul de reduceri succesive. Se procedează la reduceri succesive deoarece $d_4 < 0,1$ mm este necesar pentru analize.

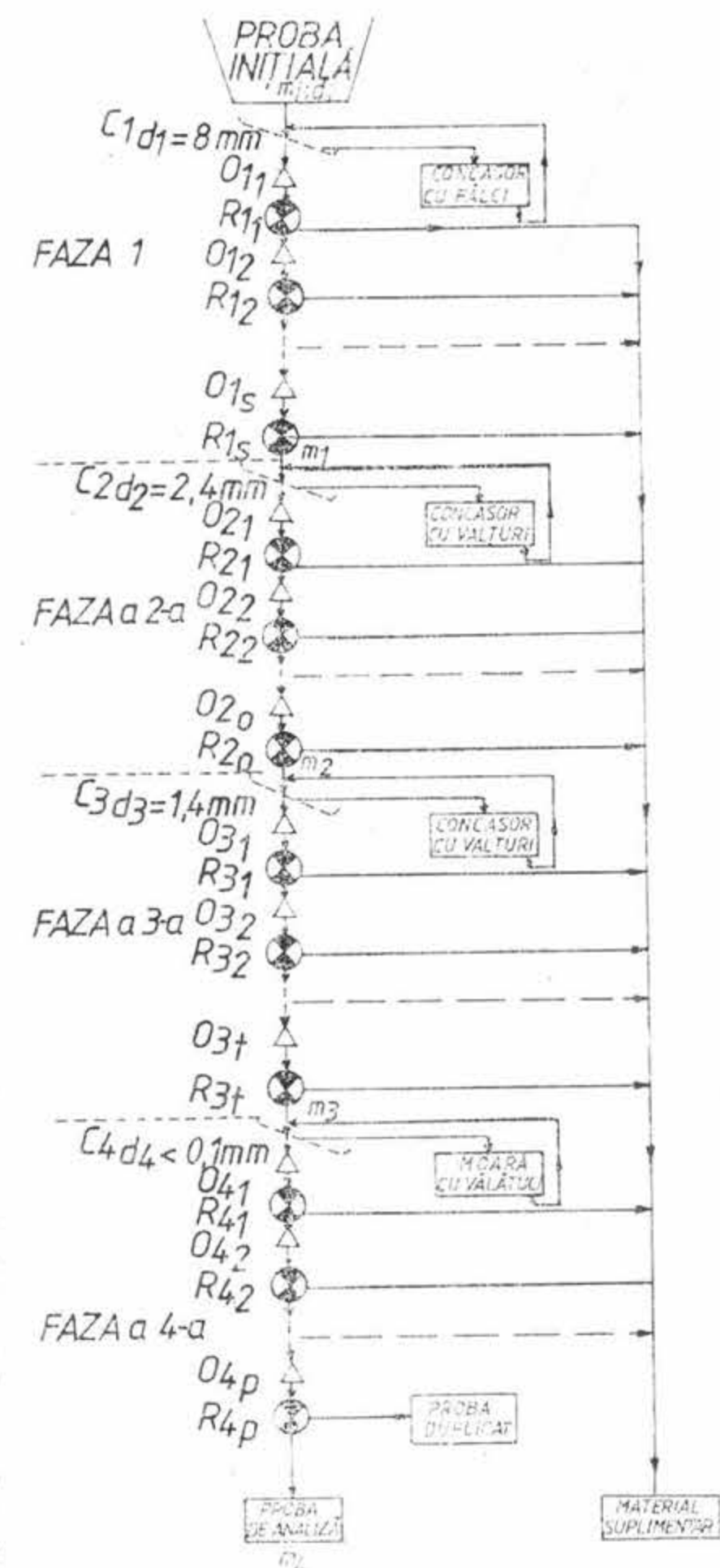


Fig. XII. 39. Schema de prelucrare a unei probe geologice în vederea determinării conținuturilor în elemente chimice:

$C_1 \dots C_4$ — cînruri; O — omogenizare; R — reducere; s, o, t, p — numărul de omogenizări, respectiv de reduceri din fiecare fază; $m_1 \dots m_4$ — mase reduse după fiecare fază; $d_1 \dots d_4$ — diametrele gâurilor cînrurilor, respectiv diametrele finale de la aparate.

XIII. CAROTAJUL GEOFIZIC

Şef lucrări, dr. ing. AURELIAN NEGUŢ

Pentru rezolvarea problemelor prospecțiunii și explorării acumulărilor de substanțe minerale solide, alături de informațiile geofizică și geologică directă obținută prin foraje și lucrări miniere, se folosesc, cu bune rezultate, și datele carotajului geofizic.

Prin denumirea generică de *carotaj geofizic* se înțelege complexul de metode și procedee în care se înregistrează variația unor parametri fizici ai rocilor de-a lungul profilului traversat de forajele efectuate pentru cercetarea diferitelor substanțe minerale utile.

Aplicarea eficientă a metodelor de carotaj geofizic trebuie să aibă în vedere, pe de o parte, varietatea foarte mare a substanțelor minerale utile solide ce prezintă interes practic și, pe de altă parte, contrastul de proprietăți fizice care se poate realiza între acestea și rocile care le găzduiesc.

Unele particularități ale carotajului geofizic pentru minereuri, cărbuni și alte substanțe solide își au originea în însăși caracteristicile sondelor în ceea ce privește diametrul, adâncimea, natura fluidului de foraj folosit, locul sondei (la suprafață sau în subteran) și chiar accesibilitatea la sondă.

Metodele și tehnicile de lucru folosite vizează atât detectarea și delimitarea substanțelor minerale cât și obținerea elementelor necesare pentru evaluarea conținutului de substanță utilă din rocile cercetate; pentru a fi eficiente, aceste metode și tehnici trebuie să fie integrate rațional în succesiunea normală de prospecțiune și explorare aplicată într-o anumită zonă de lucru.

Principalele probleme puse carotajului geofizic pentru substanțe minerale solide pot fi sintetizate astfel:

- separarea și caracterizarea *in situ* a formațiunilor după natura litologică și corelarea lor;
- detectarea și delimitarea anumitor substanțe minerale în formațiunile traversate prin foraje;
- determinarea grosimii și plasarea limitelor corpurilor de minereu sau zonelor mineralizate și a stratelor de cărbuni; stabilirea poziției lor structurale;
- determinarea tipului de substanță minerală utilă detectată;
- evaluarea cantitativă a conținutului în substanțe utile din minereu și conținutului în cenușă a cărbunilor;
- identificarea și delimitarea formațiunilor acvifere și caracterizarea dinamicii apelor subterane în strânsă legătură cu lucrările miniere de explorare și exploatare;
- estimarea *in situ* a unor parametri fizico-mecanici ai rocilor.

Carotajul geofizic s-a dovedit a fi de un real folos în rezolvarea unor astfel de probleme; în plus, ca metodă indirectă prezintă o serie de avantaje în raport cu metodele directe bazate pe analiza carotelor mecanice și anume:

- dă un profil complet și continuu al formațiunilor, suplinind recuperajul redus și caracterul discontinuu al carotelor;
- datele obținute sînt mult mai reprezentative deoarece măsurătorile geofizice se referă la volume de roci mult mai mari decât cele ale carotelor extrase;

— delimitează cu suficientă precizie zonele mineralizate, corpurile de minereuri, stratele de cărbuni și alte substanțe;

— furnizează datele necesare pentru stabilirea conținutului în substanță utilă al minereurilor sau în cenușă a cărbunilor la un grad de încredere comparabil cu acela obținut din analizele de laborator;

— pe baza parametrilor fizico-mecanici ai rocilor determinați *in situ* și a particularităților hidrogeologice evaluate prin carotaj geofizic, pot fi deduse informații utile necesare pentru optimizarea execuției lucrărilor miniere;

— obținerea tuturor informațiilor într-un timp relativ scurt și la costuri mai reduse.

1. PRINCIPIILE DE BAZĂ ALE METODELOR DE CAROTAJ GEOFIZIC APLICATE ÎN GEOLOGIA MINIERĂ

În problemele de geologie minieră se aplică în prezent un complex de metode și tehnici de carotaj geofizic care au la bază variația proprietăților fizice ale rocilor și substanțelor minerale utile căutate. Aceste proprietăți fizice au fost deja prezentate pe larg în capitolul referitor la Prospecțiunea geofizică.

Pentru înregistrarea variației parametrilor fizici în funcție de adâncime, în multiplele variante de carotaj geofizic se folosește o aparatură automată complexă, constituită din două părți: *aparatura de sondă* și *aparatura de suprafață*. Legătura dintre ele este realizată prin intermediul cablului de carotaj multiconductor cu armătură metalică.

Semnalele electrice obținute de la traductorii din aparatura de sondă sînt transmise prin cablu, prelucrate în aparatura de suprafață și înregistrate, în urma unei calibrări corespunzătoare, sub formă de curbă continuă în funcție de adâncime.

Multiplele condiții întâlnite la cercetarea sondelor săpate pentru substanțe minerale utile solide (zone greu accesibile, sonde săpate din subteran etc.) au făcut ca aparatura de carotaj geofizic de mică adâncime să fie realizată sub formă portabilă.

1.1. CAROTAJUL DE REZISTIVITATE APARENTĂ

Domeniul foarte larg de variație al rezistivității electrice a rocilor în funcție de natura lor litologică, precum și de conținutul în apă și minerale conductoare, face posibil aplicarea cu mare eficiență a metodei la cercetarea zăcămintelor de minereuri. Există mai multe procedee practice care se aplică în prezent sau care au aplicații potențiale în acest domeniu.

1.1.1. CAROTAJUL OBIȘNUIT (STANDARD)

Constă în măsurarea rezistivității aparente cu dispozitive potențiale și gradient, prin crearea unui cîmp electric care se deplasează de-a lungul sondei și măsurarea unei diferențe de potențial între două puncte ale mediului cercetat.

Schemele principale de măsurare folosind dispozitive potențiale sau gradient sînt indicate în fig. XIII.1.

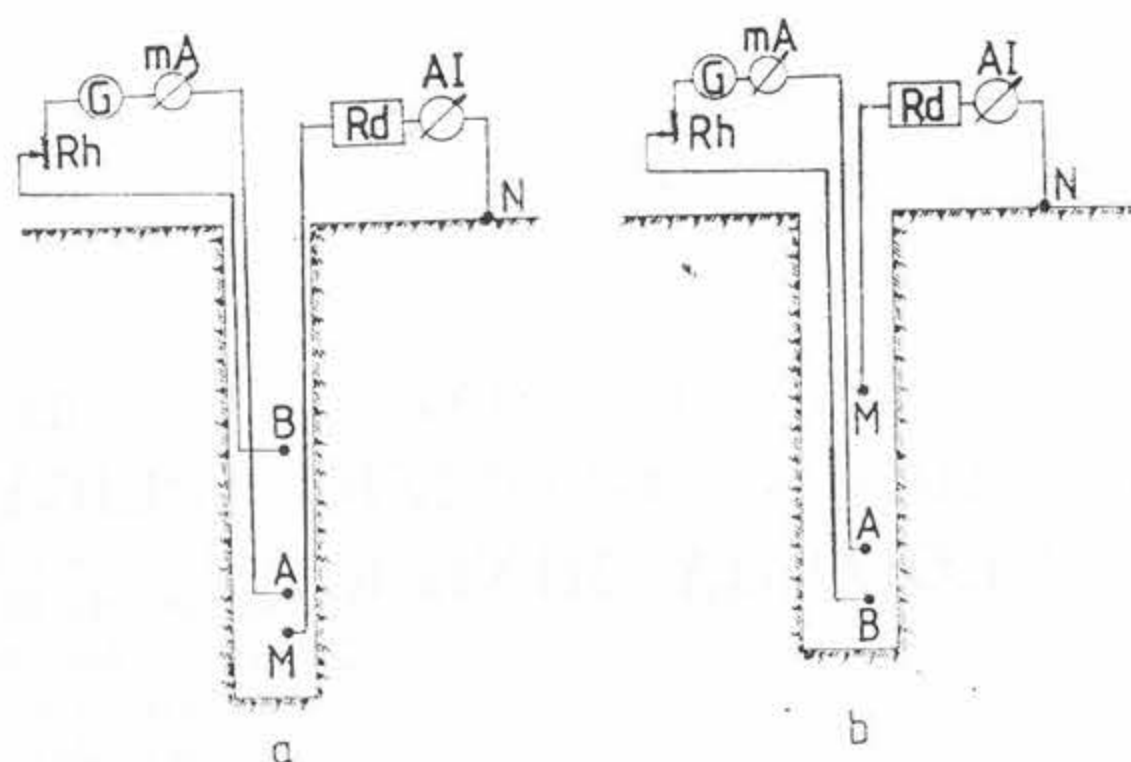


Fig. XIII.1. Schemele principale de măsurare utilizate în carotajul electric obișnuit :

a — dispozitiv potențial; b — dispozitiv gradient.

În înregistrările curențe se preferă folosirea dispozitivelor bipolare care permit înregistrarea simultană a curbelor de rezistivitate și PS.

Rezistivitatea măsurată ρ_A se calculează cu relația :

$$\rho_A = K \frac{\Delta V}{I}$$

în care K , constanta dispozitivului, depinde numai de configurația geometrică a acestuia.

De obicei, în fiecare sondă se înregistrează două curbe de rezistivitate : una cu dispozitiv potențial (curba potențială) și una cu dispozitiv gradient (curba gradientă). În general, cele două curbe prezintă valori diferite datorită volumelor de rocă implicate în măsurătoare, în funcție deraza de investigație a dispozitivelor utilizate. Obișnuit, volumul investigat cu dispozitivul potențial este mai mic decît cel investigat cu dispozitivul gradient. Diferențierea valorilor de rezistivitate înregistrate cu cele două dispozitive în fața aceleiași roci se explică prin influența fluidului de foraj din sondă și efectul pătrunderii acestuia în rocile poroase-permeabile traversate.

Pentru a putea efectua un carotaj electric obișnuit, sonda trebuie să conțină fluid de foraj ; în sondele uscate, săpate cu aer, carotajul electric obișnuit nu se poate aplica.

În principiu, dispozitivele folosite trebuie să asigure o rază de investigație suficient de mare și o bună rezoluție verticală. Rezoluția pe verticală ce trebuie asigurată de dispozitivele alese este strîns legată de grosimea minimă a stratelor sau zonelor mineralizate care prezintă interes practic.

Pentru înregistrarea rezistivității aparente se utilizează atît dispozitivele B2A03, M (potențial) și M2A0, 3 B (gradient) uzuale la investigarea sondelor săpate pentru hidrocarburi, cît și dispozitivele reduse B0, 5A0, 1 M (potențial) și M0, 5A0, 1B (gradient) ; acestea din urmă permit separarea cu mai mare precizie a stratelor sau zonelor mineralizate cu grosime mai mică.

1.1.2. CAROTAJUL CU CURENȚI FOCALIZAȚI.

Principial, metoda constă în investigarea mediului sondei cu ajutorul unui cîmp electric creat de un curent dirijat aproape normal pe peretele sondei sub forma unui fascicul, printr-un sistem adecvat de focalizare. Pe această cale se realizează reducerea substanțială a influenței noroiului din sondă și a stratelor adiacente, influență ce putea avea o pondere mare în carotajul electric obișnuit.

Dintre dispozitivele focalizate, la investigarea sondelor de minereuri, cărbuni, săruri minerale se recomandă utilizarea dispozitivelor cu trei electrozi alungați (fig. XIII.2). Prin electrodul central A_0 se trimite un curent de intensitate I_0 , iar prin electrozii A_1 și A_2 scurtcircuitați un curent de intensitate I_1 și de aceeași polaritate cu I_0 . Curentul I_1 se reglează automat în raport cu I_0 astfel ca potențialul electrozilor A_1 și A_2 să se mențină la potențialul electrodului A_0 . În felul acesta este asigurată așa numita *condiție de focalizare*.

Lățimea pinzei de focalizare este aproximativ egală cu lungimea dispozitivului și determină grosimea minimă a stratelor care pot fi precis delimitate, fără o influență importantă a stratelor adiacente.

Dispozitivele focalizate reflectă litologia generală a formațiunilor traversate și separă foarte bine stratele subțiri. Cu ajutorul carotajului cu curenți focalizați pot fi localizate foarte bine zonele cu fracturi în rocile compacte, zonele de alterație, zonele mineralizate, stratele de cărbuni, stratele de sare, săruri de potasiu ș.a.

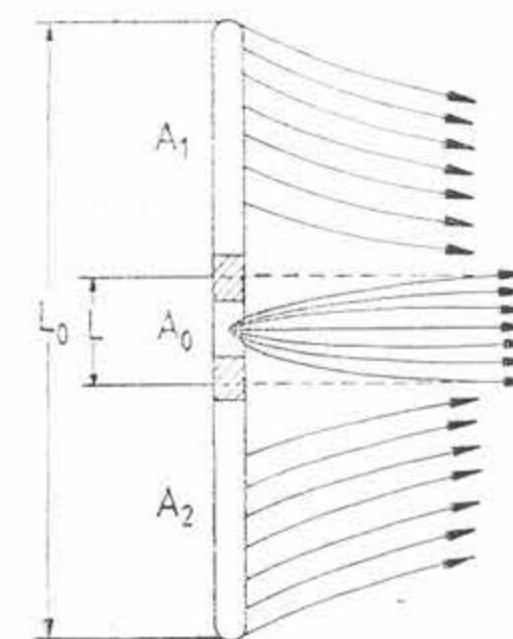


Fig. XIII.2. Schema de principiu a dispozitivului focalizat LL₃ :

A — electrod principal; A_1 , A_2 — electrozi de focalizare;
 L — lungimea dispozitivului;
 L — lungimea totală.

1.1.3. CAROTAJUL INDUCTIV

Principial, carotajul inductiv constă în următoarele : printr-o bobină transmițătoare (T) montată pe un suport izolant, se trimite un curent alternativ de o anumită frecvență. Cîmpul magnetic variabil produs de bobină (cîmp magnetic primar sau direct) dă naștere la curenți induși cu parcurs circular în formațiunile traversate. Curenții induși — a căror intensitate este proporțională cu conductivitatea formațiunilor — creează un cîmp magnetic secundar care induce o f.e.m. într-o bobină receptoare (R) (fig. XIII. 3). situată la distanța L (lungimea dispozitivului) de bobina transmițătoare. Semnalul înregistrat este proporțional cu conductivitatea formațiunii în care se află dispozitivul.

Majoritatea dispozitivelor moderne de carotaj inductiv sînt dispozitive cu mai multe bobine, așa-numite *dispozitive focalizate*; aceste dispozitive au o mai bună rezoluție verticală și o rază de investigație mai mare.

Domeniul optim de aplicabilitate al carotajului inductiv este oferit de sondele care conțin un fluid de foraj cu rezistivitate mare (fluide negre, cu adaos de petrol) sau sondele uscate, întâlnite uneori la explorarea substanțelor minerale solide.

Carotajul inductiv, datorită rezoluției verticale foarte bune a dispozitivelor utilizate, delimitează cu precizie intervalele din gaura de sondă, mai ales cele conductoare cum sînt zonele mineralizate.

1.1.4. METODA CAROTAJULUI DE CURENT

Dacă de-a lungul profilului sondei se deplasează un electrod A conectat la o sursă de curent continuu, curentul care trece în mediul înconjurător variază în funcție de rezistivitatea mediilor traversate de sondă. Acesta este principiul care stă la baza metodei carotajului de curent cînd electrodul se deplasează pe axa sondei (fig. XIII.4 *a*) sau este fixat pe o patină (fig. XIII.4, *b*), în varianta denumită *contacte alunecătoare*.

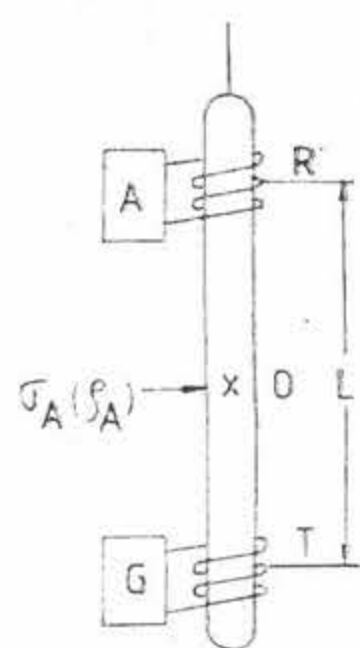


Fig. XIII.3. Schemă principală a unui dispozitiv de carotaj inductiv cu două bobine.

Metoda carotajului de curent este indicată în zonele în care există contraste mari de rezistivitate între rocile care compun profilul sondei. Stratele care posedă o rezistivitate mică (zone cu mineralizații, antracite, roci argiloase, zone alterate) se remarcă prin maxime pe curbele carotajului de curent; stratele cu rezistivitate mare (gresii compacte calcare, roci eruptive) corespund la minime pe curbele carotajului de curent.

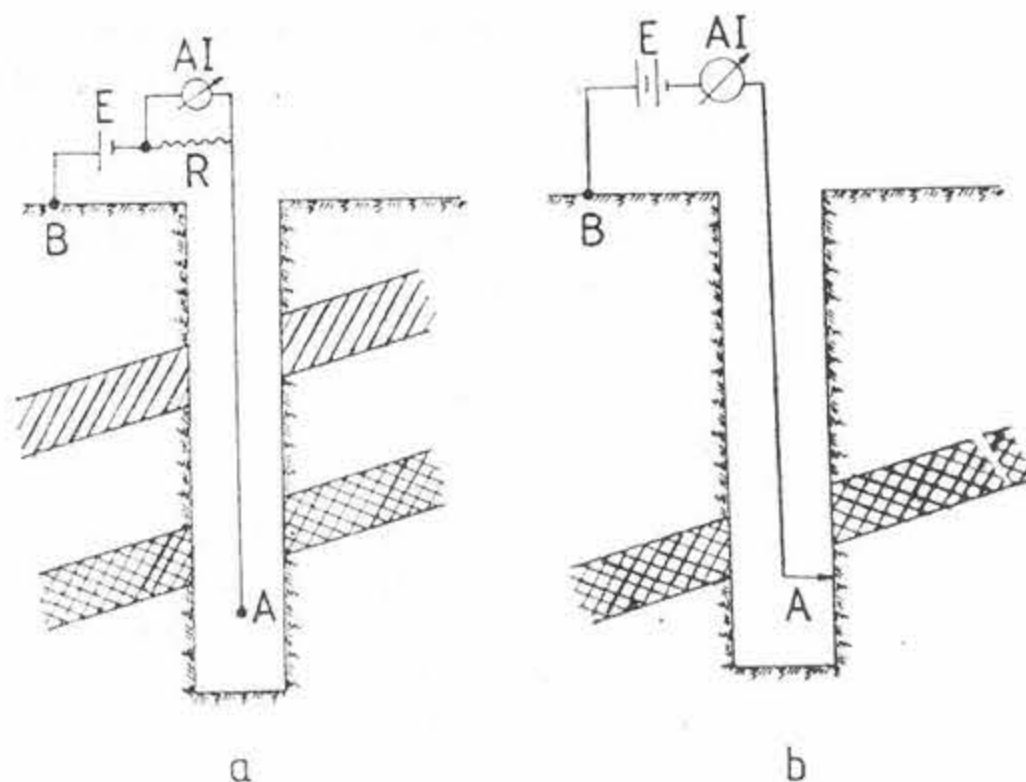


Fig. XIII.4. Schemele principale de măsurare în metoda carotajului de curent:

a — electrod centrat pe axa sondei; *b* — electrod la peretele sondei (contacte alunecătoare).

Pentru a reduce influența noroiului de foraj din sondă se recomandă aplicarea variantei contactelor alunecătoare. La contactul electrodului cu corpul de minereu sau roca cu rezistivitate foarte mică, rezistența de prizare a electrodului scade brusc și, ca urmare, crește curentul în circuit, ceea ce se înregistrează cu aparatul de măsură. De aceea rocile cu conductibilitate electronică, în special zonele cu minereuri, se remarcă prin indicații mărite pe diagrama obținută cu această metodă.

1.1.5. CAROTAJUL ELECTRIC CU MICRODISPOZITIVE SAU MICROCAROTAJUL

Este utilizat în practica cercetărilor geofizice în sonde ca mijloc de separare precisă a straturilor subțiri, de evidențiere a formațiunilor poroase și permeabile și evaluarea proprietăților lor colectoare.

Microcarotajul obișnuit constă în măsurarea rezistivității rocilor cu ajutorul unui dispozitiv cu trei electrozi coliniari, fixați pe o patină izolantă ce freacă pe peretele sondei. Electrozii sînt situați la distanțe egale de 2,5 cm. Cu acest sistem de electrozi se pot realiza două microdispozitive (fig. XIII.5):

- un microdispozitiv potențial $AM_3 = 0,05$ m;
- un microdispozitiv gradient $AO = 0,0375$ m.

Se înregistrează simultan două curbe de rezistivitate, care se raportează la volume mici de rocă situate în imediata vecinătate a peretelui sondei.

În afară de microcarotajul obișnuit, în prezent se utilizează și *microcarotajul cu curenți focalizați* (Microlaterolog) pentru cercetarea sondelor săpate cu noroaie mineralizate (sondele de explorare a sărurilor solubile — sare gemă, săruri de potasiu și magneziu) și a sondelor care traversează roci predominant rezistente (calcare, roci compacte eruptive și metamorfice).

Microcarotajul poate fi utilizat în sondele de minereuri și alte substanțe minerale solide, pentru delimitarea exactă a acestora, localizarea zonelor de fracturi, delimitarea straturilor poroase-permeabile și evaluarea porozității lor. Acestea pot fi strate acvifere care urmează a fi izolate în procesul de deschidere și exploatare a zăcămintelor.

1.1.6. ELECTROMETRIE DE SONDĂ ÎN CURENT CONTINUU

Sondele săpate pentru explorarea minereurilor, care au intersectat sau nu mineralizația, pot fi utilizate pentru măsurători combinate în diferite sisteme pentru rezolvarea următoarelor probleme geologice-miniere:

- prospectarea și evidențierea zonelor mineralizate adînci în spațiul din apropierea sondei;
- detectarea corpurilor de minereu care se găsesc mai jos de talpa sondei;
- determinarea poziției corpurilor de minereu în spațiul dintre sonde și corelarea zonelor mineralizate intersectate în sonde vecine;
- precizarea configurației geoelectrice în spațiul dintre sonde.

Variantele utilizate diferă prin poziția electrozilor de alimentare și de măsură. Sînt trei grupe de procedee de măsurare, care se pot defini, convențional, astfel:

Procedeeul „sondă-suprafață”, în care electrodul de alimentare A este plasat în sondă și măsurarea potențialului sau gradientului de potențial se efectuează la suprafață, după sistemul profilelor liniare (fig. XIII.6).

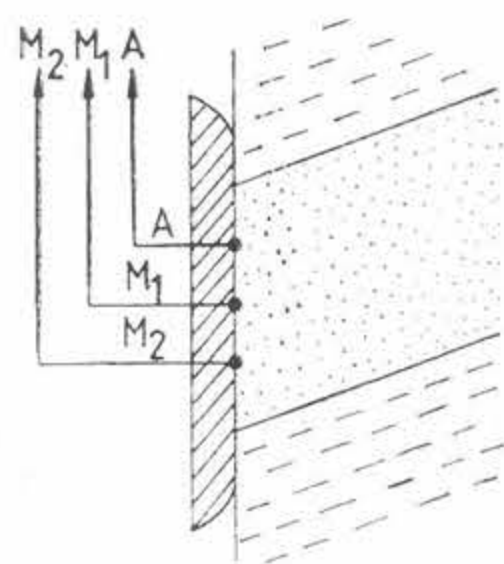


Fig. XIII.5. Schema de principiu a patinei dispozitivului de microcarotaj obișnuit

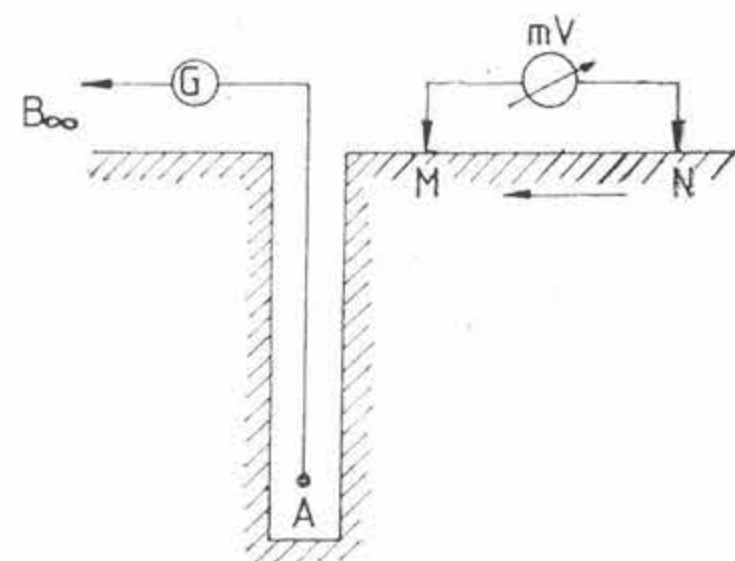


Fig. 6. Schema principială de măsurare în varianta „sondă-suprafață”.

Procedeeul „sondă-sondă”. Unul din electrozii de alimentare se coboară în sondă, iar celălalt se află la suprafață, la mare distanță de sondă (B_{∞}), măsurătoarea efectuându-se într-o sondă vecină sau câteva sonde, situate pe un profil sau profile vecine (fig. XIII.7). Un caz particular este considerat acela când ambii electrozi de alimentare sînt situați în aceeași sondă, formînd un dipol. De asemenea, prezintă interes varianta în care electrozii de alimentare și de măsură din sonde vecine se deplasează sincron.

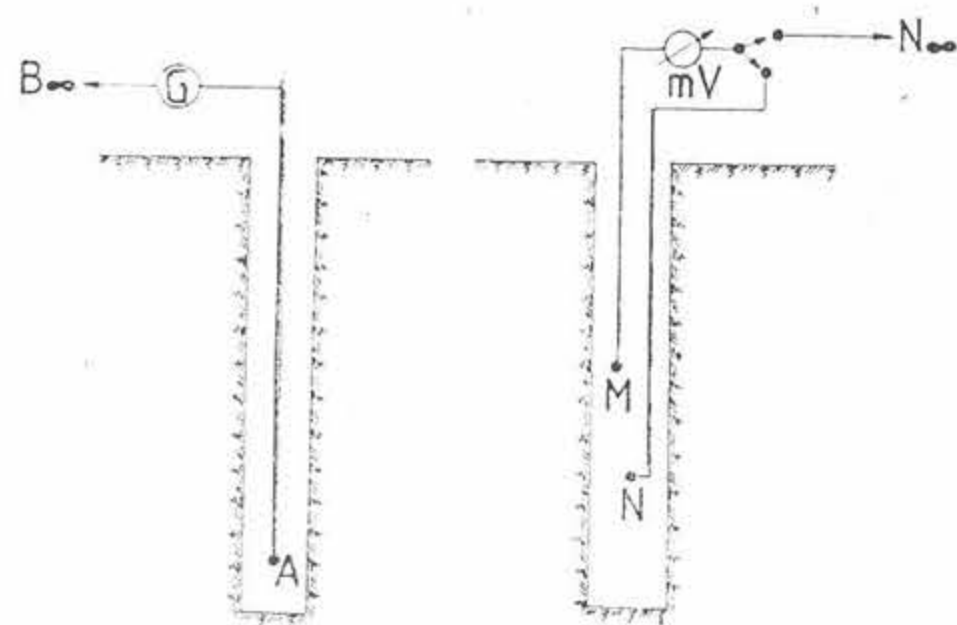


Fig. XIII.7. Schema principială de măsurare în varianta „sondă-sondă”.

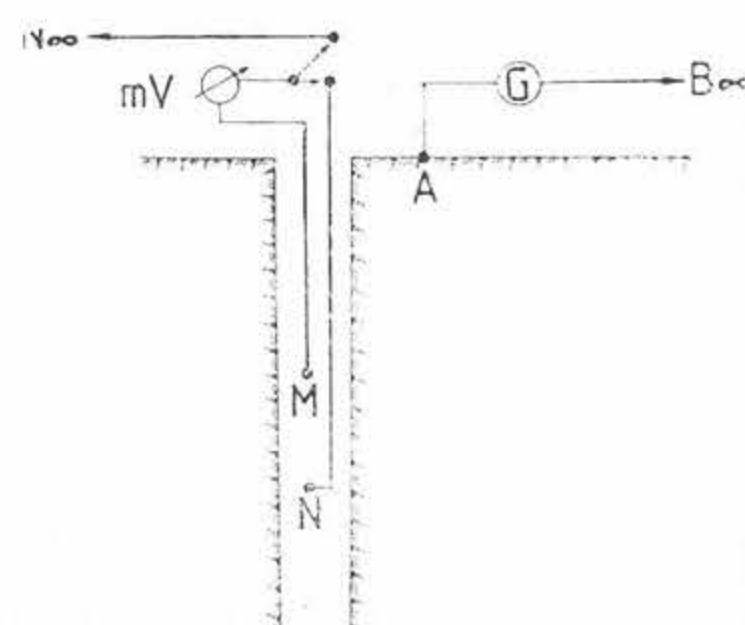


Fig. XIII.8. Schema principială de măsurare în varianta „suprafață-sondă”.

Procedeeul „suprafață-sondă”. Constă în amplasarea ambilor electrozi de alimentare la suprafață: unul în imediata vecinătate a sondei în care se efectuează măsurătorile, celălalt la mare distanță (fig. XIII.8). Pentru efectuarea lucrărilor este suficient a avea o singură sondă.

Procedeele indicate au unele limitări care derivă din particularitățile unei anumite acumulări de substanțe minerale: pe lângă mineralizația propriu-zisă pot apărea și alte corpuri conductoare care corespund zonelor de tectonizare, zonelor puternic transformate hidrotermale sau șisturilor argiloase-grafitoase.

1.2. CAROTAJUL POTENȚIALELOR NATURALE SAU SPONTANE

Rocile posedă proprietatea de a crea, la contactul dintre ele și mai ales la contactul cu fluidul de foraj, un câmp electric de polarizație naturală. Potențialele electrice naturale sau spontane măsurate în sonde se datoresc următoarelor procese fizico-chimice:

- procesul de difuzie a ionilor sărurilor dizolvate în apele de strat în noroiul de foraj sau invers;
- procesul de adsorbție selectivă a ionilor de un anumit semn la suprafața particulelor de rocă sau la peretele capilarelor.

Cele două procese menționate sînt de fapt laturi ale procesului complex de difuzie-adsorbție;

- procesul de filtrație sau curgere a unui fluid (apă de strat, filtrat de noroi prin capilarele sau fisurile rocilor traversate de sondă);
- procesul de oxidare-reducere a unor compuși minerali conținuți de rocile traversate de sondă.

Pentru rocile care interesează în explorarea majorității zăcămintelor de minereuri (roci metamorfice și magmatice), procesele de difuzie-adsorbție sînt de mică intensitate, astfel încît rocile nu se diferențiază între ele. Potențialele de difuzie-adsorbție pot să devină importante atunci cînd zăcămintele de minereuri sînt găzduite de roci sedimentare sau în vecinătatea contactului rocilor sedimentare cu magmatice.

Potențialele de filtrație pot fi întîlnite în sonde în zonele fisurate și în zonele poroase-permeabile cu proprietăți colectoare. La cercetarea zăcămintelor de minereuri cu ajutorul potențialelor spontane măsurate în sonde, componenta de filtrație este considerată o componentă perturbatoare.

Cel mai mare interes pentru cercetarea zăcămintelor de minereuri prezintă potențialele naturale care iau naștere prin procese de oxidare-reducere, în fapt, procese electrochimice la limita dintre medii cu conductibilitate electronică (minereuri de cupru, polimetalice, oxizi) și medii cu conductibilitate ionică. În general, intervalele corespunzătoare unor astfel de mineralizații se caracterizează prin anomalii electropozitive pe curbele de PS.

Măsurarea PS și gradientului de PS. Schema principială de măsurare a PS este indicată în fig. XIII.9. Un electrod de măsură M se deplasează de-a lungul sondei și se înregistrează continuu diferența de potențial dintre acesta și un al doilea electrod N de potențial constant, fixat la suprafață. De obicei, curba de PS se înregistrează simultan cu curbele de rezistivitate aparentă, cînd se folosesc dispozitive bipolare.

Curba gradientului de PS se poate înregistra simultan cu curba de rezistivitate cînd se utilizează dispozitive monopolare, sau cu dispozitive separate (fig. XIII.10) la care se schimbă distanța dintre electrozii M și N . În țara noastră, la înregistrarea gradientului de PS se utilizează următoarele distanțe dintre electrozii de măsură ai dispozitivului: $MN = 0,1; 0,5; 1$ și 2 m.

1.3. CAROTAJUL POTENȚIALELOR PROVOCATE

Principial, metoda constă în măsurarea potențialelor de polarizație provocată observabile după întreruperea curentului de excitație pulsant sau semipulsant trimis în mediu.

Potențialele provocate sînt datorate proceselor electrochimice care au loc la limita mediilor cu conductibilitate electronică și ionică și la limita mediilor cu conductibilitate ionică și dielectrice. Intensitatea polarizației provocate se caracterizează prin mărimea

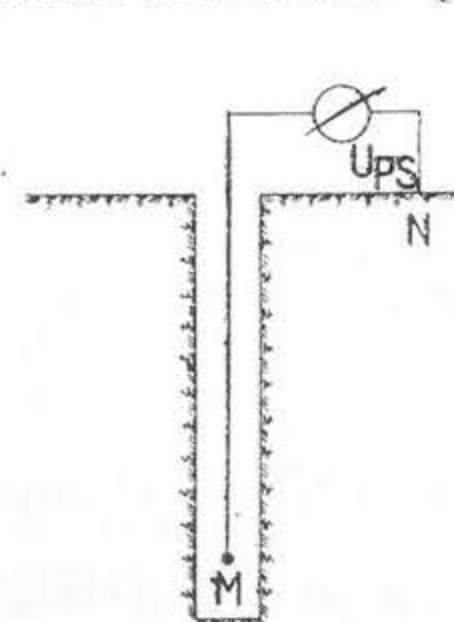


Fig. XIII.9. Schema principală de măsurare a PS.

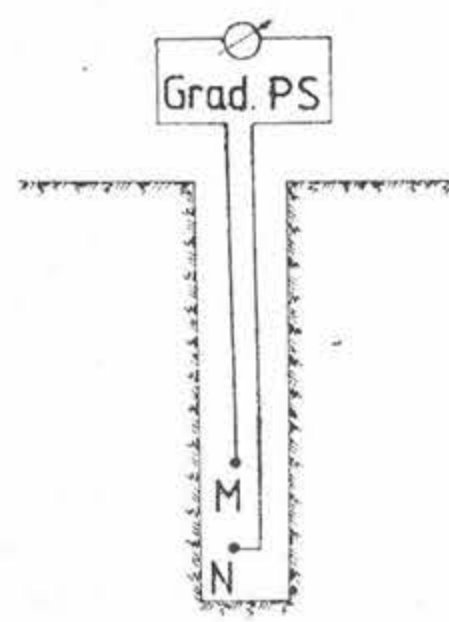


Fig. XIII.10. Schema principală de măsurare a gradientului de PS.

numită *polarizabilitate*. Polarizabilitatea rocilor depinde de porozitate, umiditate, concentrația sărurilor dizolvate în apa din pori, conținutul în minerale conductoare, dimensiunile particulelor de rocă. În absența mineralelor conductoare polarizabilitatea este mică nedepășind 1–2%.

Mineralele cu conductibilitate electronică prezente în rocă modifică în mod esențial polarizabilitatea. S-a constatat, de exemplu, că sulfuri disperse, chiar în proporție de 1% din volumul rocii, determină creșterea polarizabilității la 2–3%.

Carotajul potențialelor provocate poate fi aplicat în două variante:

a) măsurători cu folosirea unei sonde (electrozii de polarizare și de recepție în aceeași sondă);

b) măsurători cu folosirea a două sonde (electrodul de alimentare fixat într-o sondă și electrozii de recepție deplasați în altă sondă).

Carotajul potențialelor provocate s-a dovedit util în evidențierea și localizarea zăcămintelor de minereuri diseminate și masive, corelarea zonelor de minereu (mai ales în cazul mineralizațiilor de impregnație) întâlnite în mai multe sonde, cercetarea mediului geologic dintre sonde.

1.4. CAROTAJUL RADIOACTIV

Metodele de carotaj radioactiv ocupă în prezent un loc important în investigarea sondelor săpate pentru substanțe minerale utile solide, furnizând informații care nu se pot obține cu alte metode de cercetare a sondelor.

1.4.1. CAROTAJUL RADIAȚIEI GAMA NATURALE

Constă în măsurarea variației radioactivității naturale a rocilor condiționată de conținutul în radioelemente aparținând seriilor radioactive ale uraniului (${}_{92}\text{U}^{235}$, ${}_{92}\text{U}^{238}$)

thoriului (${}_{90}\text{Th}^{232}$) precum și izotopul iradioactiv al potasiului (${}_{19}\text{K}^{40}$). O contribuție mai mică o au rubidiul și câteva elemente din seria pământurilor rare.

Radiațiile gama emise de radioelementele naturale diferă atât ca număr cât și ca energie caracteristică. Spectrul energetic permite identificarea, cu mare precizie, a elementului existent în rocă.

În funcție de tipul lor, radioactivitatea naturală a rocilor variază în limite largi. Dintre rocile magmatice, cele acide au cea mai mare radioactivitate, în timp ce rocile bazice și ultrabazice au un nivel mai scăzut de radioactivitate. Rocile sedimentare prezintă radioactivități variabile. Gresile și nisipurile au radioactivități foarte scăzute în timp ce argilele prezintă radioactivități mari datorită atât conținutului în potasiu cât și adsorbției radioelementelor din apele mineralizate. Foarte radioactive sînt argilele bituminose datorită afinității preferențiale a radioelementelor față de coloizii organici. Rocile carbonatice (calacre și dolomite) au o radioactivitate scăzută.

Cărbunii și depozitele hidrochimice (gips, anhidrit, sare) au cea mai mică radioactivitate. Dintre depozitele hidrochimice fac excepție sărurile de potasiu (silvină, carnalit, kainit, polihalit, langbeinit) care prezintă radioactivități mari. De asemenea, se întîlnesc în practică strate de cărbuni radioactivi.

Schema principală de măsură a carotajului gama este prezentată în fig. XIII.11. În aparatul de sondă se plasează un detector de radiații gama (D), care poate fi de tip Geiger-Müller sau de scintilație, și se înregistrează variația radioactivității în profilul traversat.

Carotajul gama servește în primul rînd ca metodă de diferențiere litologică a rocilor și de corelare la scară locală sau regională.

În sondele săpate pentru minereuri, carotajul gama asigură, pe de o parte, diferențierea rocilor magmatice de cele metamorfice și sedimentare, iar pe de altă parte, în cadrul rocilor magmatice separarea rocilor acide de cele bazice și ultrabazice.

1.4.2. CAROTAJUL RADIAȚIEI GAMA DISPERSATE

Metoda este cunoscută sub denumirea de *carotaj gama-gama* și constă în iradierea formațiunilor traversate cu un flux de radiații gama și înregistrarea radiației gama rezultate ca efect al interacțiunii cu mediul, așa-numita *radiație gama dispersată*.

Radiația gama rezultată este o funcție de numărul atomic Z al substanței traversate și de energia radiației gama incidente. Cînd se folosesc surse de radiații gama de energie mare ($E = 0,6 - 1,5 \text{ MeV}$), radiația gama dispersată înregistrată este o funcție de densitatea formațiunilor. De aceea, acest tip de carotaj mai este cunoscut și sub denumirea de *carotaj gama-gama de densitate*. Dacă se folosesc surse de radiații gama cu energie mică, intensitatea radiației gama înregistrate depinde în cea mai mare măsură de absorbția radiațiilor gama prin efect fotoelectric. Acest efect crește foarte mult la creșterea numărului atomic al elementelor conținute în mediu; elemente ca Bi, W, Pt, Au, Ag, Pb, Hg au o mare influență asupra răspunsului metodei. Deoarece pe această bază este posibil să se evidențieze zonele din profil cu conținut în astfel de elemente, varianta de carotaj în care

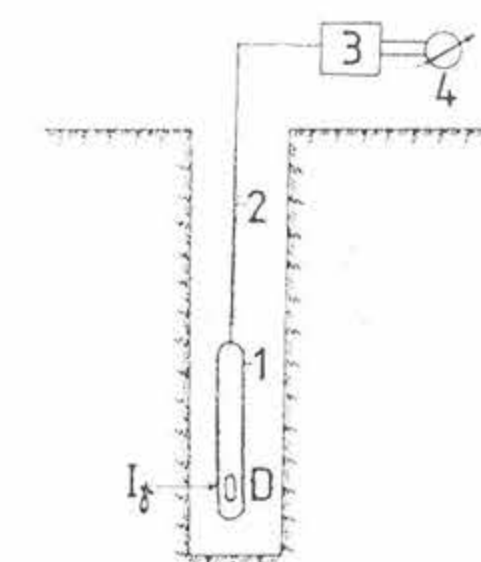


Fig. XIII.11. Schema principală de înregistrare a radiației gama naturale:

1 — dispozitivul de sondă; 2 — cablu; 3 — sistem de prelucrare a semnalului; 4 — aparat înregistrator.

se utilizează surse gama de energie mică este cunoscută sub denumirea de *carotaj gama-gama selectiv*.

Măsurarea radiației gama dispersate în gaura de sondă este realizată cu ajutorul unui dispozitiv presat pe pereții sondei în care detectorul și sursa de radiații mai sînt separate de un ecran de plumb pentru absorbția radiației gama directe (fig. XIII.12). Sursele de radiații gama folosite sînt: Co^{60} și Cs^{137} în carotajul gama-gama de densitate și Se^{75} în carotajul gama-gama selectiv.

Carotajul gama-gama selectiv aplicat în paralel cu carotajul gama-gama de densitate poate furniza informații utile la cercetarea sondelor săpate pentru minereuri de fier, mangan, cupru, nichel, crom, wolfram, molibden și sulfuri polimetalice.

1.4.3. CAROTAJUL NEUTRON-GAMA

Carotajul neutron-gama constă în bombardarea rocilor traversate de sondă cu neutroni și măsurarea intensității radiației gama de captură a neutronilor de către anumite elemente chimice conținute în rocă.

Captura neutronilor de către atomii substanței prin care trec are loc, în majoritatea cazurilor, la energii termice ale neutronilor.

Intensitatea radiației gama de captură depinde de conținutul în hidrogen al mediului și de distanța sursă-detector (lungimea dispozitivului). Pentru dispozitivele utilizate în practică, rocile cu conținut mic în hidrogen (rocile compacte magmatice, metamorfice și sedimentare) se manifestă prin valori mari, iar rocile cu conținut mare în hidrogen (rocile poroase, fisurate saturate cu fluide, rocile argiloase, rocile alterate) prin valori mici pe curbele neutron-gama.

O importanță captură a neutronilor se constată la traversarea intervalelor cu sare. Aceasta se explică prin secțiunea mare de captură a atomului de clor pentru neutroni termici (33 barni), la care se adaugă secțiunea de captură a sodiului (0,5 barni).

Neutronii pot fi puternic captați și de rocile care conțin bor, litiu, cadmiu, cobalt, mangan, vanadiu ș.a., elemente care au, de asemenea, secțiune mare de captură.

Măsurarea radiației gama de captură se realizează cu ajutorul unui aparat de sondă care cuprinde sursa de neutroni și detectorul de radiații. Cele două elemente sînt separate de un ecran de plumb (fig. XIII. 13).

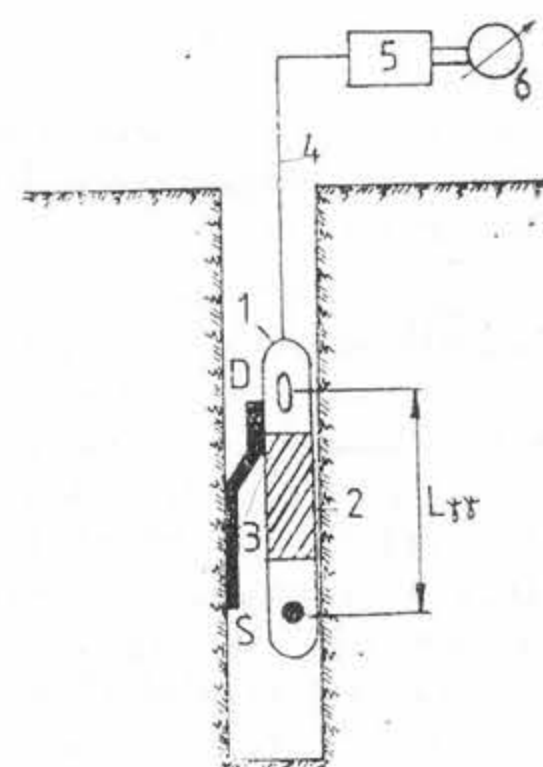


Fig. XIII.12. Schema principală a carotajului gama-gama :

1 — dispozitivul de sondă; 2 — ecran de plumb; 3 — patina de presare pe pereții sondei; 4 — cablu; 5 — sistem de prelucrare a semnalului; 6 — aparat înregistrator.

Ca surse de neutroni se folosesc :

a) *surse izotopice* — amestecuri de Ra, Po, Pu, Am cu Be. Primele joacă rol de emițători de radiații alfa cu care se bombardează beriliul, din reacția nucleară care are loc rezultând neutroni. O sursă izotopică particulară este Cf^{252} care emite neutroni prin fisiune spontană cu un flux foarte mare. Datorită fluxului mare de neutroni și foarte stabil, timpului de înjumătățire mare ($T = 265$ ani), californiul este o sursă ideală în carotajul radioactiv, mai ales în carotajul activării;

b) *generatori de neutroni*, acceleratori de particule în care producerea neutronilor are la bază reacția nucleară între izotopii grei ai hidrogenului (deuteriu și tritiu).

Folosirea generatorilor ca surse de neutroni elimină dependența mărimii măsurate de variația fluxului de neutroni al sursei, așa cum se întâmplă la sursele izotopice. În plus, generatorii de neutroni pot fi construiți să lucreze în regim de impulsuri.

Carotajul neutron-gama rezolvă problema separării rocilor din profilul sondei după conținutul lor în hidrogen, fiind o măsură a porozității totale a rocilor.

Se aplică la cercetarea sondelor de minereuri, cărbuni și săruri minerale; înregistrarea spectrului radiației gama de captură dă posibilitatea utilizării metodei pentru determinarea și evaluarea diferitelor tipuri de minerale utile.

1.4.4. CAROTAJUL NEUTRON-NEUTRONIC

Carotajul neutron-neutronic constă în bombardarea formațiunilor traversate de sondă cu neutroni și înregistrarea neutronilor, cu un anumit nivel de energie, care ajung la detector.

În funcție de energia neutronilor înregistrați se disting două variante ale carotajului neutron-neutronic :

- carotajul neutron-neutronic cu neutroni termici;
- carotajul neutron-neutronic cu neutroni epitermici (supratermici).

În *carotajul neutron-neutronic cu neutroni termici* se înregistrează neutronii ajunși la energie termică în interacțiunea cu mediul. Densitatea de neutroni termici este determinată de conținutul în hidrogen al formațiunii, mineralizarea apelor de strat, în special conținutul în clor și alte elemente care se comportă ca absorbanți puternici pentru neutroni termici.

Răspunsul *carotajului neutron-neutronic cu neutroni epitermici* este condiționat îndeosebi de conținutul în hidrogen al mediului și nu depinde practic de mineralizarea apelor de strat. Astfel, carotajul nn-e oferă o cale deosebit de favorabilă pentru evaluarea cantitativă a porozității rocilor.

Densitatea fluxului de neutroni epitermici poate fi influențată de proprietățile de captură ale mediului numai în cazul când acesta conține elemente cu secțiune mare de captură în domeniul energiilor supratermice cum ar fi : Li, B, Mn, Co, Ag, Cs, Ir, Au, Hg ș.a..

Măsurarea fluxului de neutroni termici și epitermici se realizează prin introducerea în sondă a unui dispozitiv în care se plasează sursa (S) și detectorul de neutroni (D) (fig. XIII. 14). În carotajul neutron-neutronic, ca detectori de neutroni se folosesc contori cu gaz (contori proporționali) sau contori cu scintilații. Ambele tipuri de contori conțin bor.

La cercetarea sondelor de explorare a substanțelor minerale utile solide, carotajul neutron-neutronic este inclus în programele de investigare pentru minereuri, în special pentru cele cu elemente cu secțiune mare de captură, cărbuni și săruri minerale.

1.4.5. CAROTAJUL FOTONEUTRONIC

Carotajul fotoneutronic, denumit și *carotaj gama-neutronic* constă în bombardarea rocilor cu radiații gama și măsurarea densității neutronilor care se produc în roci în urma interacțiunii radiației gama cu anumite elemente. Reacția fotoneutronică are loc numai

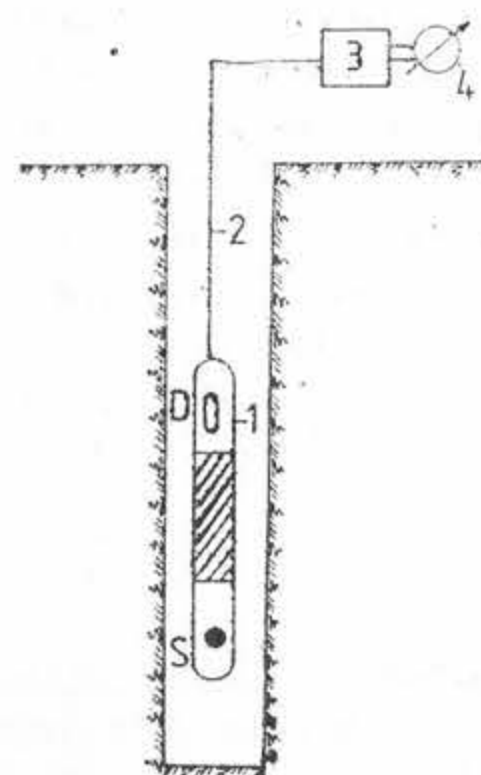


Fig. XIII.13. Schema principală a carotajului neutron-gama :

1 — dispozitivul de sondă;
2 — cablu; 3 — sistem de prelucrare a semnalului;
4 — aparat înregistrator.

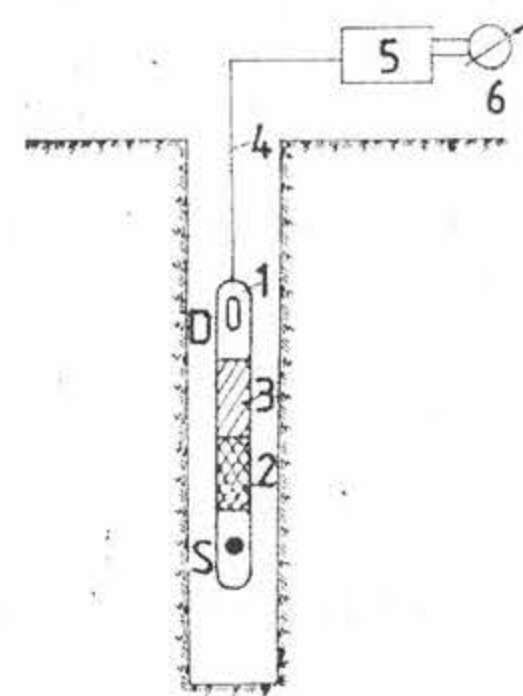


Fig. XIII.14. Schema principală a carotajului neutron-neutronic :

1 — dispozitivul de sondă; 2 — ecran de plumb; 3 — ecran pentru neutroni; 4 — cablu; 5 — sistem de prelucrare a semnalului; 6 — aparat înregistrator.

dacă energia cuantelor gama depășește energia de prag, numeric egală cu energia de legătură a neutronilor în nucleu. Pentru majoritatea elementelor energia de prag este cuprinsă în domeniul 8 — 16 MeV, cu excepția beriliului și deuteriului care au energii de prag relativ mici, egale, respectiv cu 1,63 și 2,23 MeV.

În practică, metoda este utilizată pentru detectarea și evaluarea beriliului din roci.

Aparatul de sondă este analog cu cel utilizat pentru carotajul gama-gama, cu deosebirea că se utilizează detector de neutroni. Ca sursă de radiații gama se folosește Sb^{124} .

Metoda s-a dovedit a fi foarte sensibilă, chiar la conținuturi relativ mici ale beriliului în roci.

1.4.6. CAROTAJUL ACTIVĂRII NEUTRONICE

Carotajul activării neutronice are la bază fenomenul că la bombardarea rocilor traversate cu un flux de neutroni, anumite elemente care intră în compoziția rocilor și mineralelor devin radioactive, se activează. Ceea ce se măsoară este radiația gama emisă de nucleele radioactive formate din izotopi stabili.

Izotopii radioactivi formați în mediu la iradierea cu neutroni au un timp de înjumătățire relativ scurt, de la câteva secunde la câteva ore. Energia radiațiilor gama emise — radiația gama de activare — diferă de la un element la altul, fiind o mărime caracteristică.

Principial, dacă se cunosc timpii de înjumătățire ai izotopilor formați, intensitatea și, eventual, spectrele radiației gama emise, se pot determina elementele inițiale din care iau naștere acești izotopi. Cunoscând elementele din mediu care au fost activate se pot trage concluzii asupra compoziției mineralogice a mediilor din profilul sondei.

Timpul de iradiere cu neutroni și momentul înregistrării radiației gama de activare trebuie să fie selectate în mod corespunzător, pentru a crea activitatea maximă posibilă a elementului căutat pe un fond cât mai mic produs de alte elemente.

Carotajul de activare neutronică se aplică în două variante de bază :

a) *carotajul activării continue*, utilizat pentru studierea elementelor din care se formează izotopi radioactivi cu timp de înjumătățire scurt ($^{13}\text{Al}^{28}$, $T = 2,27$ min; $^{23}\text{V}^{52}$, $T = 3,9$ min; $^{19}\text{F}^{20}$, $T = 12$ s) și la evaluarea conținutului elementelor cu secțiune mare de activare în roci și minerale;

b) *carotajul activării în stații (puncte)*, utilizat la studierea elementelor care dau naștere la izotopi cu timp de înjumătățire lung, de ordinul orelor ($^{25}\text{Mn}^{56}$, $T = 2,6$ ore) sau la detectarea elementelor cu secțiune mică de activare.

Carotajul activării se efectuează, de regulă, pe intervale selectate din profilul sondei; alegerea acestor intervale se face după diagramele geofizice efectuate în prealabil în sondă cu alte procedee carotaj. Pe intervalele alese este necesar să se cunoască radioactivitatea naturală a rocilor, lucru posibil prin efectuarea unui carotaj gama înainte de bombardarea rocilor cu neutroni.

Metoda activării se poate utiliza fie urmărind formarea unui izotop radioactiv al elementului de cercetat, fie formarea unui alt element genetic legat de elementul căutat. Un exemplu tipic este activarea argintului pentru zăcămintele auro-argentifere, cu posibilitatea de evaluare ulterioară a aurului.

1.4.7. CAROTAJUL FLUORESCENȚEI X

Fluorescența X constituie un fenomen care oferă posibilitatea analizei elementale realizate pe probe de roci (carote), pe suprafața rocilor în aflorimente sau galerii, în sonde (carotajul fluorescenței X), în fluxul de preparare al minereurilor, în concentrate.

Metoda are la bază fenomenul de excitare a radiației X caracteristice elementului căutat; această excitare se poate produce cu ajutorul radioizotopilor care emit radiații alfa, beta, X și gama. În urma excitării atomului de către radiația primară are loc expulzarea unor electroni din stratele interioare K , L , M etc., iar locul liber va fi ocupat imediat de electronii unor strate exterioare. Tranzițiile electronice pun în joc nivele energetice bine definite și sunt însoțite de radiații secundare care se plasează în domeniul radiațiilor X. Această radiație secundară se numește de *fluorescență*, deoarece este caracterizată prin lungimi de undă mai mari decât ale radiației primare incidente. Lungimea de undă a radiațiilor X variază în funcție de numărul atomic Z al elementului emițător și constituie baza identificării precise a acestuia.

Sursele de radiații X sau gama folosite în prezent acoperă un domeniu larg de energii pentru excitarea spectrului caracteristic al multor elemente. Excitarea optimă este obținută când se folosește o radiație monocromatică având o energie imediat deasupra limitei de absorbție a elementului de analizat.

În general, pentru detectarea radiațiilor X se utilizează contoare cu scintilații, contoare proporționale și detectoare cu cristale semiconductoare, asigurând o cât mai bună rezoluție energetică.

Metoda de fluorescență X este aplicabilă pentru detectarea și evaluarea unui număr important de elemente: Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Mo, Ag, Sn, W, Au, U.

Combinarea unui sistem de fluorescență X cu un dispozitiv de carotaj gama-gama selectiv s-a dovedit utilă în practica de teren (Clayton, 1969). Prin carotajul gama-gama selectiv se identifică rapid zonele cu conținut mare în substanțe utile care pot fi apoi examinate cu o mai mare acuratețe și specificitate cu metoda fluorescenței X.

1.4.8. SPECTROMETRIA RADIAȚIILOR GAMA ÎN CAROTAJ

Spectrul energetic al radiațiilor gama naturale sau provocate în urma bombardării cu neutroni reflectă particularități individuale ale structurii atomice a elementelor care le emit, constituind unul din cele mai sigure mijloace de identificare a lor.

Spectrul de radiații gama care interesează în carotajul radioactiv este cuprins, în general, în domeniul 0—9 MeV. În acest domeniu, spectrul radiației gama naturale nu depășește 2,6 MeV, în timp ce spectrul radiației gama de captură se extinde până la valori apropiate de 9 MeV.

De un interes major în carotajul radioactiv este spectrometria radiației gama naturale care permite identificarea elementelor ce contribuie la crearea radioactivității naturale pe diferite nivele de energie și evaluarea conținutului rocilor în elemente radioactive în termeni de uraniu, thoriu sau potasiu.

În spectrul radiației gama naturale principalele radioelemente se identifică după energii caracteristice.

O atenție deosebită se acordă spectrelor radiației gama provocate la bombardarea rocilor cu neutroni, mai ales spectrului radiațiilor gama de activare datorită aplicării pe scară largă a carotajului activării la cercetarea sondelor de explorare a minereurilor de Al, Cu, Mn, V, Mg, Fe, Ni, Cr ș.a.

Deosebit de promițătoare este metoda de analiză folosind spectrometria radiațiilor X de fluorescență. Sînt menționate rezultate bune pentru Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, La, Ce (Pop și Constantinescu, 1976).

1.5. CAROTAJUL ACUSTIC

Carotajul acustic are la bază diferențierea rocilor din punct de vedere al vitezei de propagare a undelor elastice și al atenuării acestor unde cu distanța. Pe această bază, carotajul acustic se aplică în două variante:

- carotajul acustic de viteză și,
- carotajul acustic de atenuare.

La investigarea sondelor pentru substanțe minerale solide se aplică îndeosebi carotajul acustic de viteză, ale cărui principii sînt prezentate în cele ce urmează.

Măsurătorile efectuate în carotajul acustic de viteză sînt de fapt măsurători de timp. Principial, cu ajutorul unui emițător se produce în gaura de sondă o undă elastică și se înregistrează timpul necesar undei, de regulă unda longitudinală (compresională) să ajungă la un receptor situat la o anumită distanță sau să parcurgă un anumit traseu situat între doi receptori. Cel mai scurt timp de parcurs între emițător (E) și receptoare (R_1 , R_2) se înregistrează pe traiectul undei refractate la limita sondă — formațiune (fig. XIII.15). Ceea ce se măsoară este diferența timpilor de sosire ai undei compresionale la receptorul îndepărtat (R_2) și receptorul apropiat (R_1).

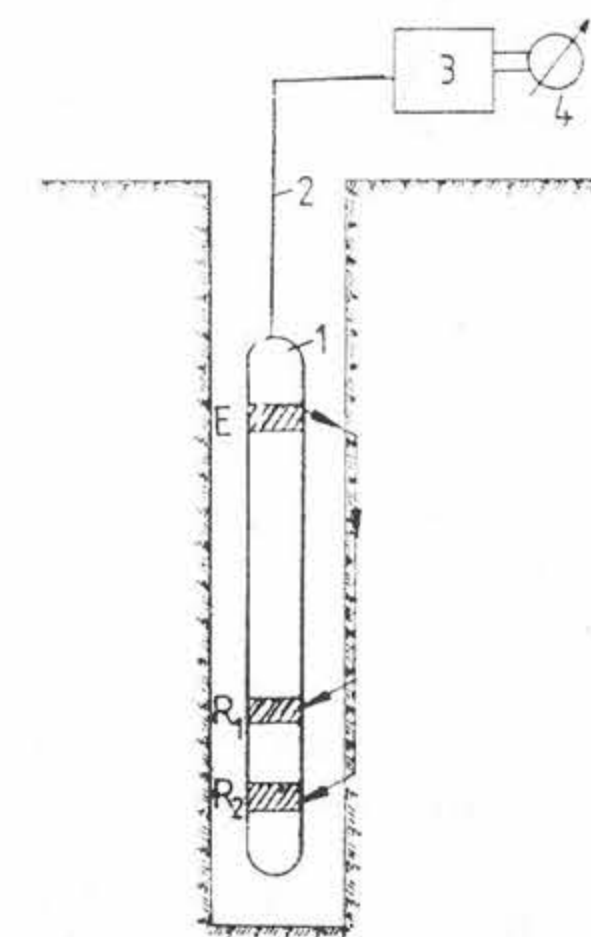


Fig. XIII.15. Schema principală a carotajului acustic:

1 — dispozitivul de sondă; 2 — cablu; 3 — blocul de prelucrare a semnalului; 4 — aparatul înregistrator.

La folosirea dispozitivelor de carotaj acustic de viteză cu două receptoare, influența drumului parcurs de unda elastică prin noroiul de foraj este eliminată. Altfel spus, natura noroiului de foraj nu are nici o influență asupra carotajului acustic.

Distanța între cele două receptoare poartă denumirea de *bază de măsură* (l) și determină rezoluția verticală a dispozitivului de carotaj acustic. Se utilizează frecvent dispozitive cu bază de măsură $l = 0,9$ m.

Semnalul măsurat în carotajul acustic de viteză obișnuit este influențat de variația diametrului găurii de sondă. Pentru a exclude complet această influență s-au introdus dispozitivele de carotaj acustic compensat.

Metoda carotajului acustic de viteză se utilizează ca mijloc de evaluare a porozității rocilor, la cercetarea sondelor de explorare a cărbunilor și sărurilor minerale (sare gemă, săruri de potasiu).

1.6. CAROTAJUL MAGNETIC

Carotajul magnetic are la bază studiul variației proprietăților magnetice ale rocilor traversate de sondă. Se aplică frecvent în două variante:

- carotajul de susceptibilitate magnetică și,
- carotajul de câmp magnetic.

De regulă, carotajul de susceptibilitate magnetică este efectuat simultan cu carotajul de câmp magnetic. Cele două tipuri de carotaje aplicate la cercetarea sondelor de

explorare pentru minereuri pot asigura :

- caracterizarea din punct de vedere geologic a formațiunilor traversate de sondă ;
- evidențierea și localizarea diferitelor tipuri de minereuri ;
- detectarea corpurilor de minereuri intersectate de sondă sau care rămân în fașpierea sondei ori sub nivelul tălpiei sondei ;
- determinarea conținutului în minerale feromagnetice în acele cazuri când între acestea și susceptibilitatea magnetică există o dependență clară.

În țara noastră se aplică cel mai mult carotajul de susceptibilitate magnetică în varianta gradient, care asigură cu precizie detectarea și delimitarea mineralizațiilor feromagnetice.

1.7. CAVERNOMETRIA

Operația de cavernometrie are rolul de a stabili variația reală a diametrului găurii de sondă în raport cu diametrul nominal al sapei, ca rezultat al acțiunii combinate a luidului de foraj, sapei și garniturii de prăjini asupra stratelor traversate. Variațiile de diametru pot fi puse în legătură cu natura litologică a formațiunilor.

Cavernometria obișnuită este efectuată cu cavernometre cu brațe expandabile, de tip patină sau tip lame elastice.

O importanță particulară în geologia minieră o are *cavernometria sonică* destinată înregistrării profilelor cavernelor în masivele de sare exploatare prin sonde, înregistrarea profilelor sondelor de diametru mare (puțuri de mină) și cavernelor de depozitare subterană formate prin dizolvare în sare.

Cavernometria sonică are la bază următorul principiu : un puls sonor este emis de la un transmițător și se înregistrează timpul necesar sunetului să atingă peretele cavernei și să fie recepționat la același traductor care acționează acum ca receptor. Timpul necesar de parcurs este o măsură a distanței până la peretele cavernei.

Dispozitivul de sondă constă dintr-un traductor plasat la capătul unui braț care se deplasează din poziție verticală în poziție orizontală, permițând emisia-recepția pulsului continuu, pe peretele sondei, de la orizontală la verticală (Dawson-Grove, 1969) (fig. XIII.16). În general, pentru o anumită poziție a traductorului se execută o citire la fiecare 4° de rotație a aparatului. Secțiunea superioară a dispozitivului conține o celulă pentru măsurarea „in situ” a vitezei sunetului în mediul în care este lansat dispozitivul. Din măsurarea timpului de parcurs și vitezei în fluid se calculează distanța de la dispozitiv la peretele cavernei.

Pentru fiecare nivel de adâncime se obține imaginea secțiunii transversale a cavernei ; prin asamblarea tuturor imaginilor se obține configurația reală a cavernei (golul de dizolvare).

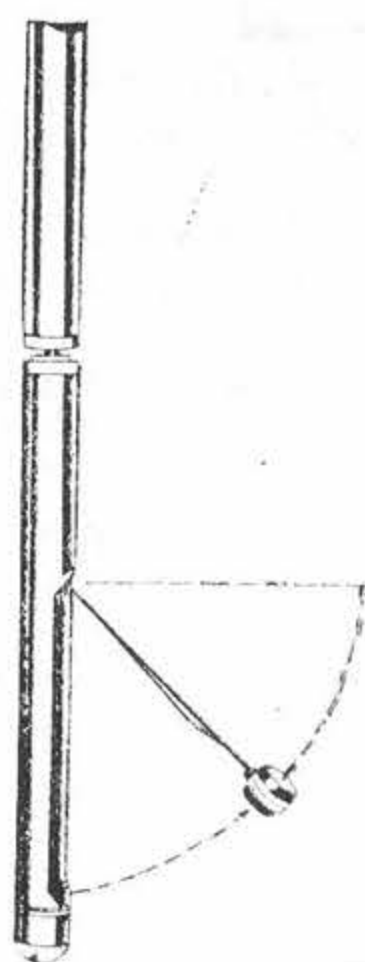


Fig. XIII.16. Schema cavernometrului sonic (după Dawson-Grove).

2. APLICAREA CAROTAJULUI GEOFIZIC PENTRU IDENTIFICAREA ȘI EVALUAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE SOLIDE

În aplicarea carotajului geofizic pentru identificarea și evaluarea substanțelor minerale solide, plecând de la condițiile geologice ale zonei de cercetat și proprietățile fizice ale minereurilor și substanțelor minerale ce prezintă interes practic, programul optim poate fi stabilit numai în urma unor lucrări experimentale în condiții de sondă. Se urmărește caracterizarea metodelor aplicate după capacitatea lor de rezoluție privind separarea principalelor tipuri de roci, evidențierea substanțelor utile, delimitarea exactă a acestora, obținerea datelor inițiale pentru caracterizarea structurii minereului și evaluarea cantitativă a conținutului în substanță utilă.

Varietatea foarte mare de minereuri și substanțe utile, precum și de condiții geologice în care acestea se întâlnesc, determină programe de investigare diferite care nu pot fi generalizate. Aceste programe de investigare trebuie să cuprindă metode care să permită pe de o parte, caracterizarea naturii principalelor tipuri de roci și, pe de altă parte, identificarea și separarea principalelor substanțe utile solide.

În cele ce urmează, vor fi date câteva exemple pe tipuri de mineralizații și substanțe.

2.1. MINERALIZAȚII DE METALE FEROASE

Din această categorie, un loc important îl ocupă minereurile de fier și mangan ; la acestea se adaugă minereurile de crom, titan, nichel, vanadiu, cobalt, molibden și wolfram.

Minereurile de fier, de mai multe tipuri, se caracterizează prin compoziție mineralogică, condiții de formare și alte particularități diferite.

Pentru identificarea și evaluarea minereurilor magnetice, datorită susceptibilității magnetice mari, procedeul de carotaj geofizic care se recomandă de la sine este carotajul magnetic de susceptibilitate, indiferent de tipul genetic al minereului. Diagrama carotajului de susceptibilitate magnetică de tip gradient-înregistrată într-o sondă de pe zăcămintul de la *Palazu Mare* (fig. XIII.17) — ilustrează, pe de o parte, delimitarea sigură a zonelor mineralizate în raport cu sisturile cristaline intercalate, iar pe de altă parte, separarea zonelor mai bogate de cele mai sărace în magnetit.

Carotajele electrice și radioactive aplicate în zonă aduc unele informații cu privire la formațiunile traversate, fără să ofere criterii sigure de identificare a mineralizației în raport cu calcarele și sisturile cristaline. Astfel, carotajul radiației gama naturale permite plasarea limitei dintre calcare și complexul cristalin prin creșterea nivelului de radioactivitate, iar zonele mineralizate mai bogate identificate pe carotajul de susceptibilitate magnetică se manifestă prin minime pe curbele carotajului gama-gama de densitate. Minimele înregistrate pe curbele de rezistivitate aparentă atît în complexul calcarelor cît și în complexul cristalin sînt de regulă asociate cu zone de fisurare-fracturare sau chiar zone de falie.

Un alt exemplu este oferit de diagrapia geofizică complexă efectuată în zona *Băișoara* (fig. XIII. 18). Mineralizațiile de fier (magnetit) sînt identificate în primul rînd pe

curbele de carotaj magnetic și se diferențiază de corpurile de sulfuri polimetalice. Rocile adiacente sînt reprezentate de calcare, banatite și skarne. Atît zonele mineralizate cu magnetit cît și cele cu sulfuri se caracterizează prin valori minime evidente pe curba gama-gama, rezistivitate mică și PS electropozitiv. PS-ul electropozitiv este caracteristic îndeosebi sulfurilor. Rezistivitatea mică și relativ constantă sugerează existența unor minereuri de tip masiv. O informație deosebit de utilă obținută din diagrapia radioactivă gama este limita între calcare și banatite, acestea din urmă fiind caracterizate printr-o radioactivitate ridicată.

Interpretarea complexă a diagrapiei geofizice înregistrate a permis să se identifice și unele zone cu mineralizație dispersă.

Minereurile de fier hematitice, limonitice și sideritice fiind slab magnetice nu pot fi evidențiate prin carotajul magnetic. În acest caz principalele metode de carotaj geofizic care se recomandă aparțin carotajului radioactiv (gama, gama-gama, neutron-gama). Cea mai bună rezoluție o are carotajul radiației gama dispersate în varianta carotajului de densitate sau selectiv aceasta se bazează pe faptul că zonele mineralizate au densitatea și numărul atomic efectiv mai mari decît rocile adiacente.

Un exemplu de localizare a unui corp sideritic în aglomerate andezitice pe baza minimumului înregistrat în carotajul gama-gama de densitate este prezentat în fig. XIII.19 pentru o sondă din zona Mădăraș. Interpretarea dată este confirmată și prin minimumul înregistrat pe curba radiației gama naturale și maximumul pe curba neutron-gama, aceasta din urmă indicînd o zonă compactă.

În aceeași sondă, pe baza carotajului geofizic s-a putut plasa cu precizie limita între aglomeratele andezitice și calcarele inferioare; această limită este controlată pe toate curbele înregistrate (PS, gama, gama-gama și neutron-gama). În această zonă sideritele se manifestă prin maxime pe curbele de rezistivitate în raport cu aglomeratele andezitice.

Uneori intercalațiile sideritice și ankeritice, cum este cazul zăcămintelor din zona Ghelar și Teliuc, se manifestă prin minime în raport cu calcarele adiacente. În prezența

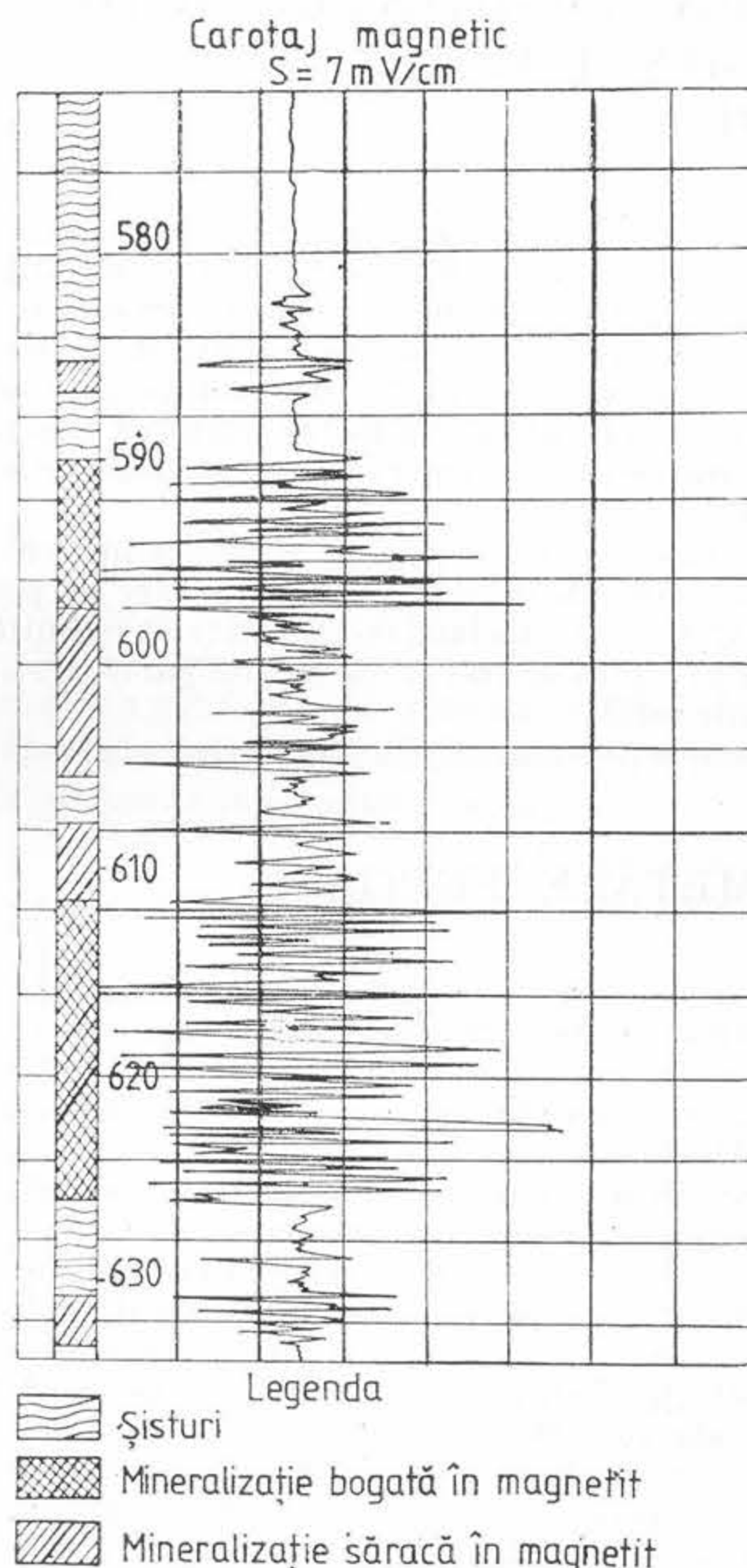


Fig. XIII.17. Carotaj magnetic într-o sondă de explorare din zona Palazu Mare-Dobroea (după IFLGS).

magnetitei dispersate, minereurile de fier de tip carbonatic pot fi identificate prin carotajul magnetic.

Identificarea mineralizațiilor de fier poate fi făcută și pe cale indirectă, prin activarea manganului, întotdeauna întîlnit în asociație cu fierul. Rezultate bune au fost obținute pe zăcămintele de tip Poiana Ruscă și tip Harghita (Iordache, 1965).

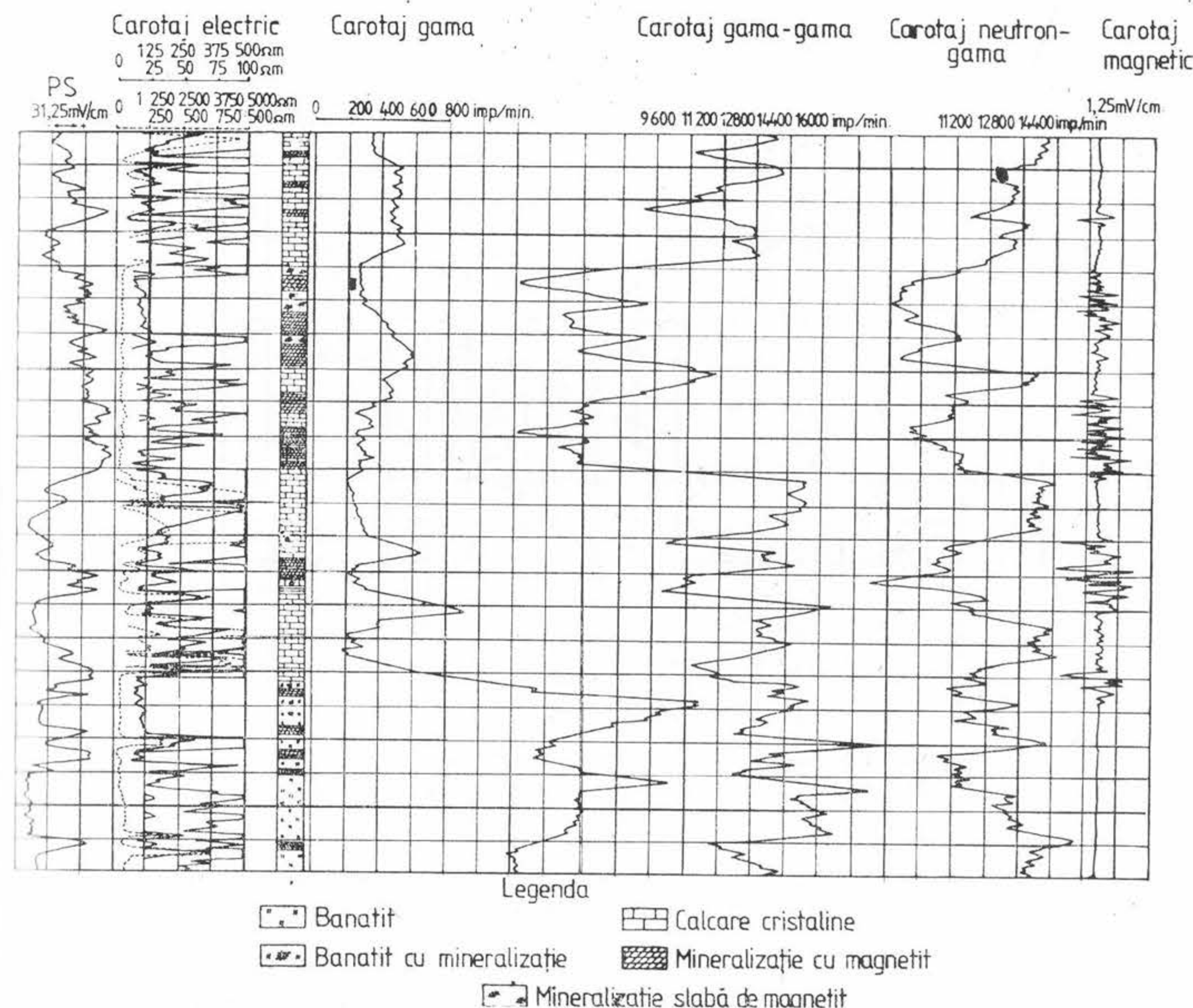


Fig. XIII.18. Diagrapie geofizică complexă pentru mineralizații de fier și sulfuri în zona Băișoara (după IFLGS).

Una din problemele importante ale investigării geofizice a sondelor pentru minereuri, în general, este evaluarea conținutului în substanță utilă.

În principiu, pentru evaluarea conținutului de substanță utilă din minereu se utilizează datele acelei metode de carotaj geofizic pentru care se constată cea mai strînsă

dependență între valorile înregistrate și variația conținutului de substanță utilă. Stabilirea relației de dependență între răspunsul unei anumite metode de carotaj geofizic și conținutul în substanță utilă pentru un zăcămint, dat se face pe baza analizei unui număr reprezentativ de probe de minereu. După stabilirea curbei de dependență poate fi rezolvată problema inversă a determinării conținutului de substanță utilă pentru cazurile când se dispune numai de carotajul geofizic.

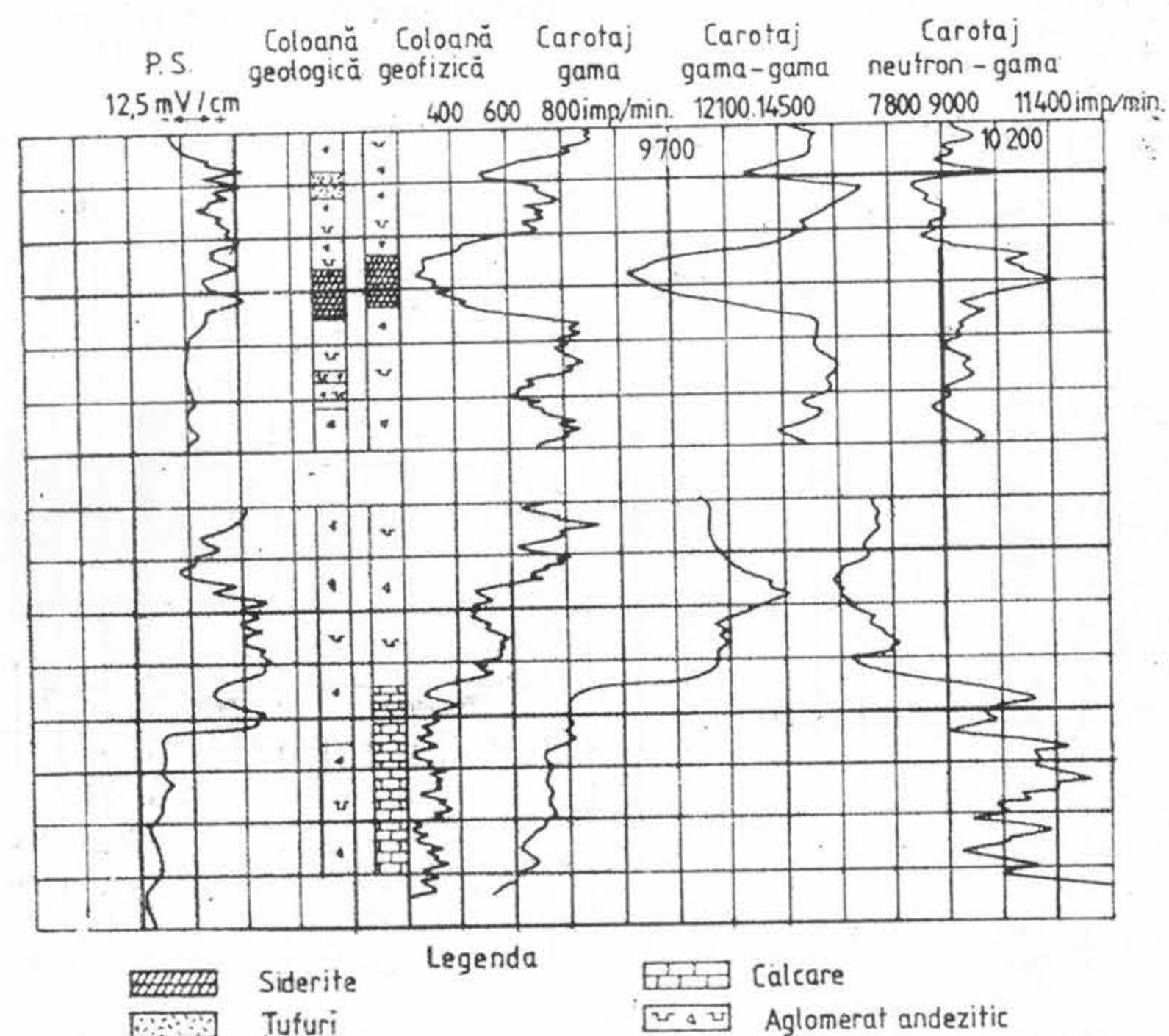


Fig. XIII.19. Localizarea corpurilor de siderite din zona Mădăraș după diagramele geofizice (după IFLGS).

Cele mai favorabile metode pentru evaluarea conținutului de fier din minereuri de orice tip sînt metodele radioactive gama-gama de densitate și selectiv, neutronice și spectrometria radiațiilor gama de captură; unele din procedeele elaborate au aplicabilitate practică limitată.

Rezultate notabile în acest sens au fost obținute de Iordache (1965) pe diferite zăcămint sau iviri de fier din țara noastră. Experiența obținută ar trebui să fie extinsă și să capete un caracter sistematic atît pentru fier cit și pentru alte substanțe minerale utile solide.

Minereuri de mangan. Evidențierea mineralizației și evaluarea conținutului cantitativ al manganului se pot face cu ajutorul carotajului neutron-neutronic cu neutroni termici și carotajului activării. Aceasta are la bază secțiunea mare de captură a manganului pentru neutroni termici și formarea izotopului radioactiv Mn^{56} ($T = 2,6$ ore) din izotopul stabil Mn^{55} , în urma reacției nucleare cu neutroni termici ${}^{55}_{25}Mn(n, \gamma){}^{56}_{25}Mn$.

Izotopul Mn^{56} poate lua naștere și prin reacția $Fe^{56}(n, p)Mn^{56}$, dar la iradierea formațiunilor cu neutroni rapizi. Un exemplu de carotaj de activare a manganului este prezentat în fig. XIII.20, într-o sondă de explorare pe zăcămintele de fier de tip Hărgăhita.

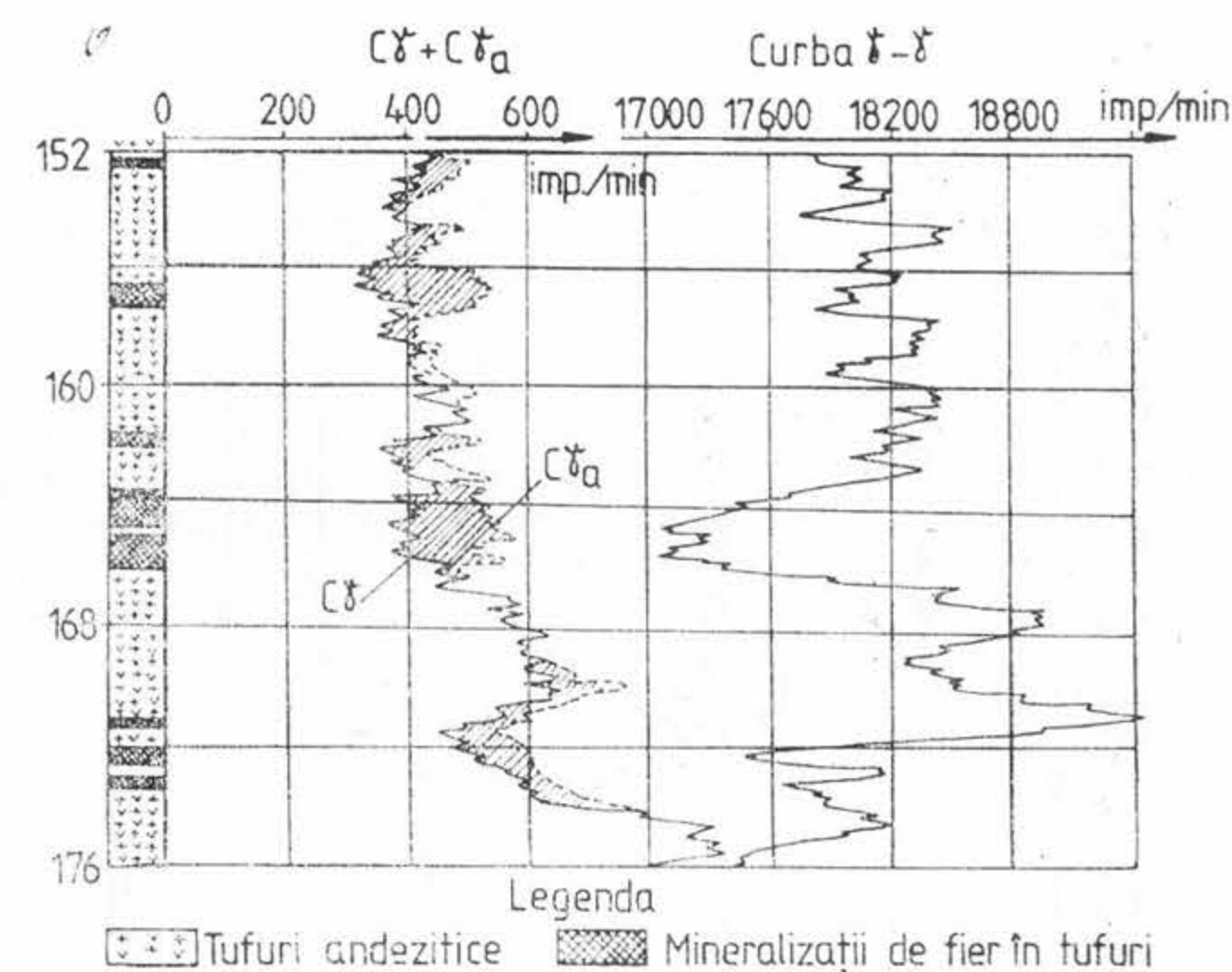


Fig. XIII.20. Carotaj de activare pentru identificarea manganului în mineralizații de fier de tip Hărgăhita (după Iordache).

(Iordache, 1965). Uzual, carotajul de activare pentru mangan se efectuează prin măsurători în stații. O construcție specială a dispozitivului de sondă și viteza mică de înregistrare (4-16 m/oră) au permis un carotaj de activare continuu, ca în exemplul prezentat mai sus. Aici activarea manganului a fost folosită ca metodă indirectă de identificare a zonelor cu mineralizații de fier.

Vanadiul rareori formează zăcămint propriu zise. Se poate întâlni în asociație cu rocile bazice (magnetite titanifere legate de gabrouri) și ultrabazice, în produse de alterare chimică (argile, bauxite, fosfați, limonit) și în zonele de oxidare ale minereurilor de plumb, zinc și cupru (Petrulian, 1973). În multe cazuri este asociat cu minereurile de uraniu (carnotita).

În sonde, prezența vanadiului poate fi pusă în evidență prin carotajul de activare continuu, izotopul radioactiv obținut (${}^{52}_{23}V$) avînd timp de înjumătățire scurt ($T = 3,9$ min).

În țara noastră, carotajul de activare pentru vanadiu a fost aplicat pentru identificarea unor zone de îmbogățire în șisturile bituminoase de la *Anina*.

Mineralizațiile de crom pot fi identificate printr-un complex de metode radiometrice constând din : carotaj neutron-gama spectral, carotaj neutron-neutronic cu neutroni supra-termici, carotaj gama-gama de densitate și selectiv (Feldman, et al, 1974) care permite separarea univocă a minereurilor de cromite, diferențierea lor pe tipuri și evaluarea principalilor componenți și caracterizarea litologică generală a profilelor traversate. Un exemplu de acest fel este prezentat în fig. XIII.21.

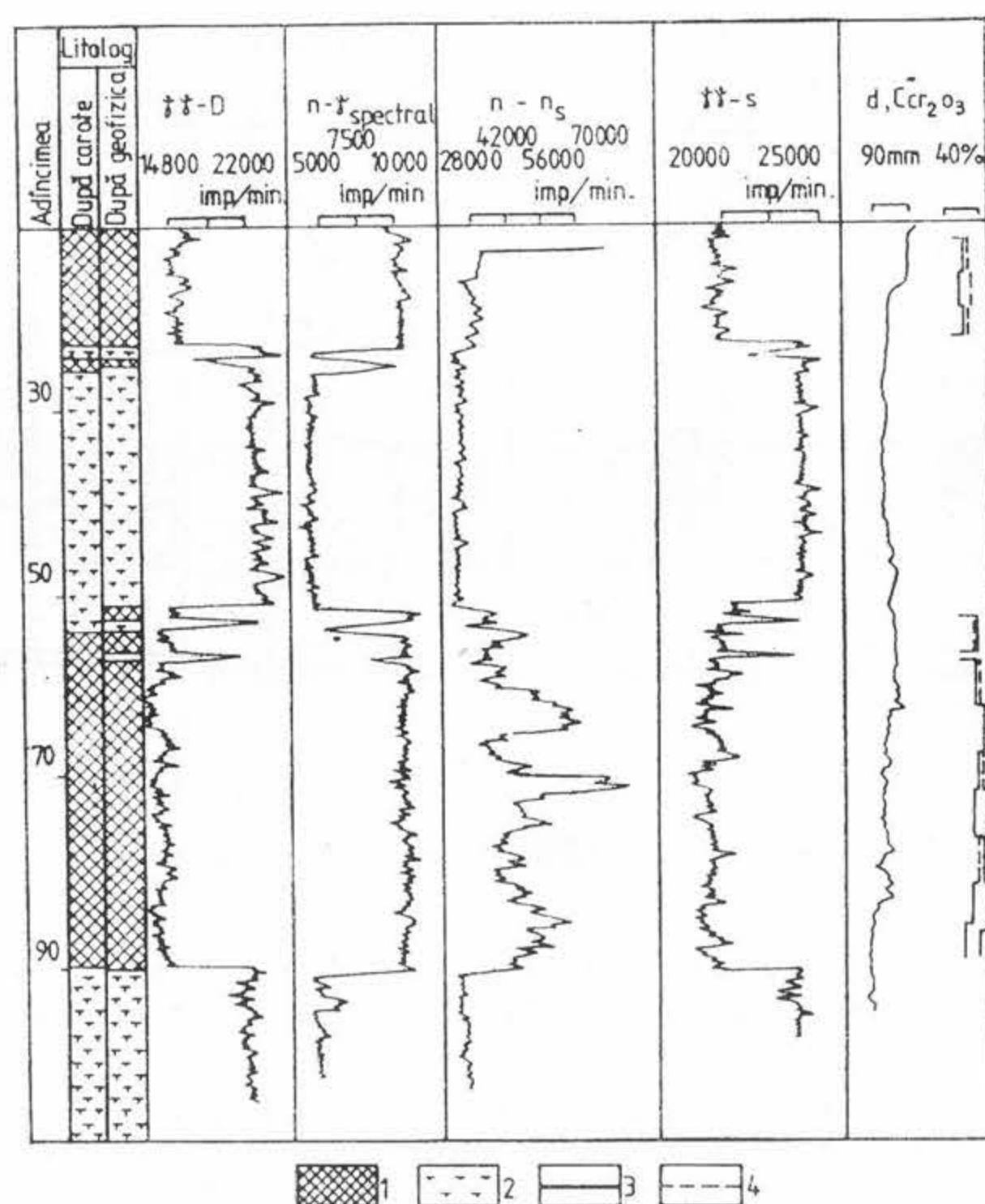


Fig. XIII.21. Separarea și evaluarea cromitelor cu ajutorul unui complex de carotaje radioactive (după Feldman et al.).

Mineralizațiile de nichel pot fi identificate prin carotaj gama spectral cu o „fereastră” energetică corespunzătoare acestui element. Separarea univocă a zonelor cu minereu de nichel este legată de diferențierea spectrelor Ni și Fe în domeniul energiilor mari ale radiației gama de captură (Alexeev et al., 1968).

2.2. MINERALIZAȚII DE METALE NEFEROASE ȘI AURO-ARGENTIFERE

Mineralizațiile de metale neferoase, în particular, de cupru, plumb și zinc se întâlnesc mai ales sub formă de sulfuri cu caracter polimetalic. O caracteristică importantă ce trebuie luată în considerare la aplicarea metodelor de carotaj geofizic este aceea că multe minereuri ale metalelor neferoase (pirită cuprifera, calcopirită) au o rezistivitate foarte mică, legată de conductibilitatea lor electronică. În funcție de tipul minereului, rezistivitatea poate fi mai mare sau mai mică. Astfel, minereurile metalelor neferoase de tip masiv, filonian sau agregate bogate au rezistivitate foarte mică, în timp ce minereurile diseminate, toate minereurile oxidate, minereurile de zinc și minereurile cu conținut mic în substanță utilă au o rezistivitate relativ mare.

Dacă primele tipuri de minereuri pot fi identificate prin metode electrice (rezistivitate, PS), pentru cele din al doilea grup se recomandă aplicarea metodelor radioactive și, în particular, carotajul gama-gama de densitate și gama-gama selectiv.

În exemplul din fig. XIII.18 caracteristicile zonelor cu sulfuri sînt valorile electropozitive pe curba de PS, rezistivitatea mică și valorile mici pe curba gama-gama de densitate.

Carotajul gama-gama de densitate a fost aplicat cu succes în evaluarea concentrației de zinc din minereu sub formă de sulfuri într-o matrice de calcar și a conținutului total de **plumb și zinc** în anumite zone ale aceluiași zăcămint (Donhoffer, 1969). Zonele cu minereu au fost evidențiate printr-o descreștere semnificativă a intensității relative (raportul între valorile înregistrate în zona de minereu la valorile înregistrate în intervalele din sondă cu roca de bază). Pe baza curbelor de calibrare s-a determinat concentrația în zinc sau în plumb și zinc; compararea valorilor obținute cu datele analizelor chimice a indicat o foarte bună corelare.

Pentru identificarea și evaluarea **cuprului** din minereurile cu conținut mic în metal se recomandă folosirea carotajului de activare neutronică. Sînt doi izotopi stabili ai cuprului care produc izotopi radioactivi la bombardarea cu neutroni: Cu^{65} în proporție de 31% și Cu^{63} în proporție de 69% în amestecul natural a izotopilor de cupru. Prin activare, din primul izotop stabil ia naștere izotopul radioactiv Cu^{65} cu timp de înjumătățire scurt ($T = 5,1$ min), iar din al doilea, ia naștere izotopul radioactiv Cu^{66} , cu timp de înjumătățire lung ($T = 12,8$ ore). Dacă se urmărește izotopul cu viață scurtă, carotajul de activare poate fi realizat continuu; izotopul cu viață lungă poate fi identificat prin măsurători discrete.

Minereurile de aluminiu, în particular bauxitele, pot fi localizate la explorarea prin sonde cu ajutorul carotajului de activare. La iradierea cu neutroni, izotopul stabil $^{27}_{13}\text{Al}$ trece în izotopul radioactiv $^{28}_{13}\text{Al}$ ($T = 2,27$ min) a cărui radiație gama poate fi înregistrată în mod continuu la viteză mică de deplasare a dispozitivului în sondă.

Alături de activarea aluminiului cu neutroni termici, conform reacției $^{27}_{13}\text{Al}(n, \gamma)^{28}_{13}\text{Al}$, poate fi urmărită și activarea siliciului la bombardarea cu neutroni rapizi, în acord cu reacția nucleară: $^{28}_{14}\text{Si}(n, p)^{28}_{13}\text{Al}$. Raportul Al/Si obținut pe această cale reprezintă un indicator deosebit de util pentru evaluarea calității bauxitelor.

Comparînd datele de măsurare în metoda activării cu conținutul în oxid de aluminiu din corpurile de bauxită determinat prin analize chimice, s-a găsit că între cele două mărimi există o dependență liniară.

Mineralizațiile auro-argentifere se întâlnesc adesea în asociație cu mineralizațiile polimetalice. Conținutul foarte mic de aur și argint din minereu face ca astfel de mineralizații să nu poată fi identificate direct prin metode uzuale. Metoda de bază pentru identificarea argintului și în condițiile unei etalonări corespunzătoare și evaluarea sa cantita-

tativă este carotajul de activare. Se poate activa atât izotopul $^{107}_{47}\text{Ag}$, în proporție de 51,35% în amestecul natural al izotopilor de argint și secțiunea de activare de 44 barni, cât și izotopul $^{109}_{47}\text{Ag}$, în proporție de 48,65%, cu secțiunea de activare de 110 barni. Izotopul rezultat în primul caz, $^{108}_{47}\text{Ag}$ are timp de înjumătățire de 2,3 min, iar cel rezultat în al doilea caz, $^{110}_{47}\text{Ag}$, are timp de înjumătățire de 24 s, astfel încât radiația gama de activare poate fi înregistrată în mod continuu.

Aplicând o metodă de cercetare adecvată pentru detectarea argintului, zonele mineralizate în argint se vor delimita, calitativ, printr-o diferențiere netă între curba radiației gama naturale înregistrată înainte de bombardarea cu neutroni și curba radiației gama de activare (fig. XIII.22).

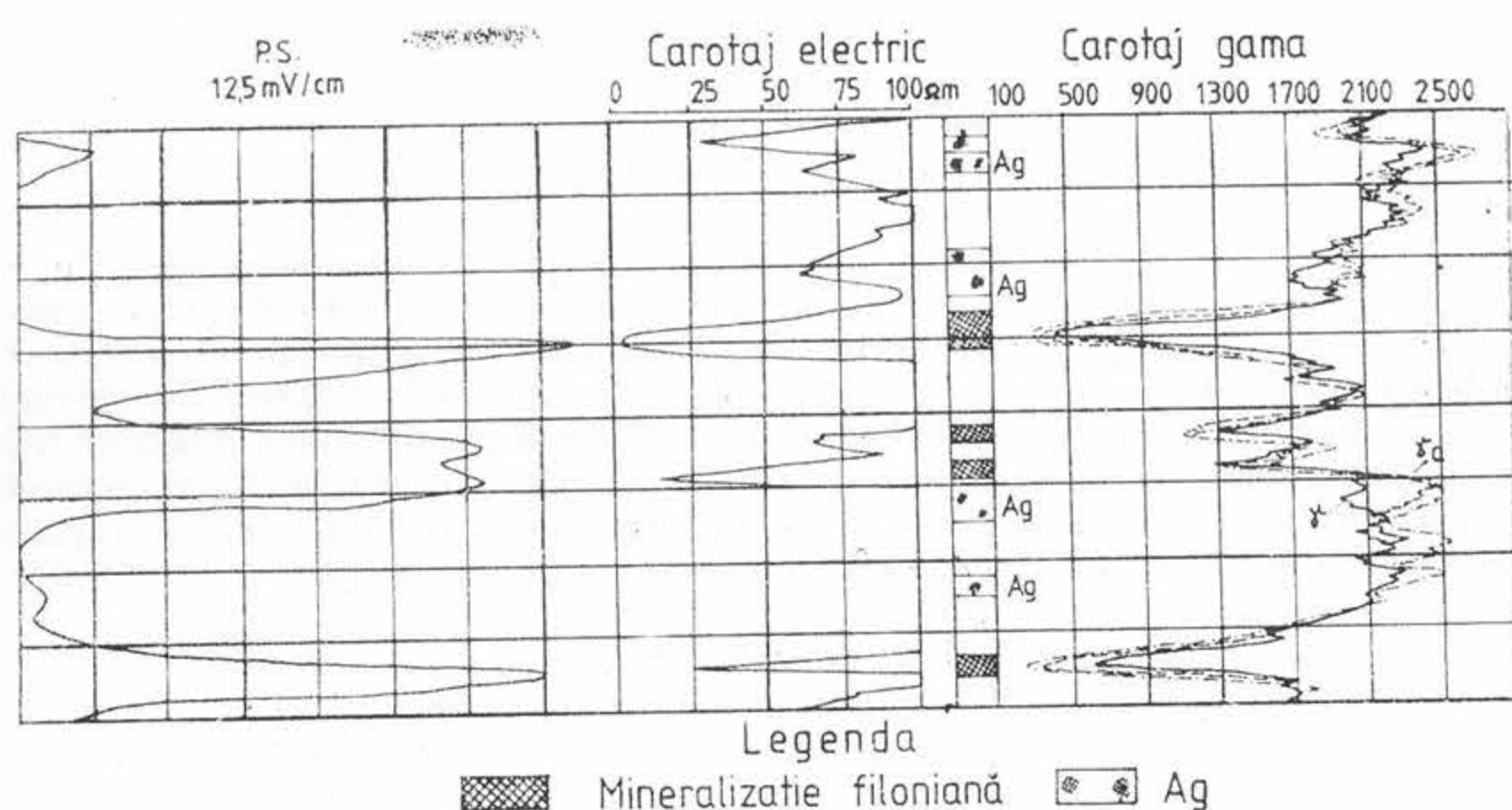


Fig. XIII.22. Exemplu de carotaj de activare pentru argint-Băiuți (după IFLGS).

Elemente de detaliu privind metoda cercetării mineralizațiilor auro-argentifere prin carotajul de activare au fost publicate de Iordache (1967).

Zonele de silicifiere și filoanele de cuarț cu care se asociază adesea mineralizațiile auro-argentifere pot fi puse în evidență cu ajutorul carotajelor de rezistivitate, gama naturală și gama-gama (de densitate și selectiv).

2.3. MINERALIZAȚII DE ELEMENTE RADIOACTIVE, RARE ȘI DISPERSE

Pentru identificarea și evaluarea *in situ* a zăcămintelor de uraniu sau mineralizațiilor radioactive la explorarea prin sonde, carotajul radiației gama naturale reprezintă metoda care se indică de la sine.

La aplicarea carotajului gama pentru detectarea și evaluarea mineralizațiilor de uraniu trebuie să se țină seama de câteva particularități (Hawkins și Gearhart, 1968) și anume:

- dispozitivul de carotaj trebuie să aibă un domeniu foarte larg de răspuns, deoarece este de așteptat ca într-un corp mineralizat să se întâlnească zone cu conținuturi variabile în uraniu;
- detectorii utilizați să aibă un timp de rezoluție cât mai scurt posibil;
- în circuitul de măsură a semnalului să se conserve amplitudinea pulsurilor, proporțională cu energia radiației detectate;
- validitatea interpretării în termeni cantitativi depinde de acuratețea calibrării dispozitivelor; de regulă, această calibrare se efectuează pe modele cu concentrații comparabile cu cele din minereurile de uraniu.

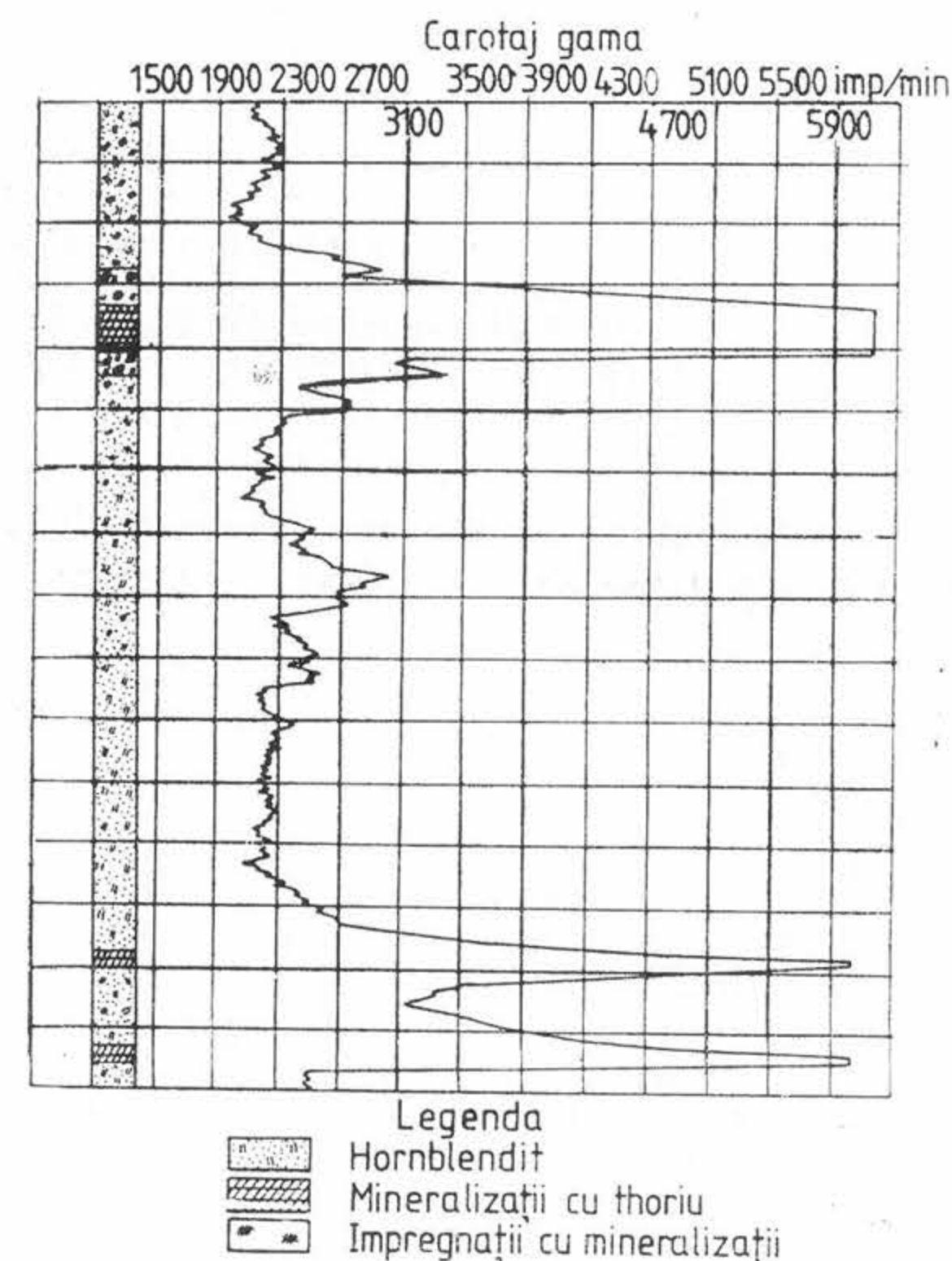


Fig. XIII.23. Carotaj gama pentru identificarea mineralizațiilor radioactive.

Identificarea și delimitarea calitativă a mineralizațiilor radioactive de uraniu și thoriu după curba gama este imediată, așa cum se poate vedea și în exemplul din fig. XIII.23.

Evaluarea conținutului de uraniu din minereu are la bază relația (Scott et al., 1961):

$$C \cdot h = k \cdot A,$$

în care: C este conținutul mediu al minereului de uraniu exprimat în procente de U_3O_8 echivalent, în greutate;

h — grosimea zonei de minereu;

k — constantă de proporționalitate determinată în urma procesului de calibrare;

A — aria închisă de curba gama.

Beriliul poate fi detectat și evaluat din punct de vedere calitativ cu ajutorul carotajului fotoneutronic. Este de menționat că au fost elaborate aparate portabile pentru prospectarea beriliului pe aflorimente și în lucrări miniere. Dispozitivele de etalonare din trusa aparatului asigură obținerea directă a conținutului de beriliu din rocă (Lövborg et al., 1969).

Metoda de activare cu radiații gama poate fi utilizată, de asemenea, pentru determinarea conținutului în **zirconiu** în minereuri zirconifere și în concentrate (Berzin et al., 1968) sau pentru determinarea simultană a conținutului de Ti și Zr în minereuri complexe titano-zirconifere, pe fondul altor elemente asociate (Sornikov, 1968).

Litiul posedă o mare secțiune de captură pentru neutroni termici (70 barni), astfel că, în principiu, se poate identifica prin minime pe curbele neutronice. În practică pot fi identificate cu suficientă precizie doar zonele îmbogățite în minerale de litiu (lepidolit, zinwaldit, spodumenul).

2.4. ACUMULĂRI DE SUBSTANȚE NEMETALIFERE ȘI ROCI UTILE

Din gama foarte largă a substanțelor nemetalifere și rocilor utile, numai o parte din ele sînt explorate prin sonde, deși sînt multe asemenea substanțe care prin proprietățile lor fizice în raport cu rocile în care sînt cantonate se evidențiază ușor pe curbele diferitelor procedee de carotaj geofizic.

Sarea gemă explorată și exploatată prin sonde poate fi identificată cu ajutorul carotajului radioactiv prin radioactivitatea sa scăzută și valori foarte ridicate ale radiației gama de captură sau fluxului de neutroni. Variațiile pe curba gama și curbele neutronice sînt puse pe seama impurităților constituite, de regulă, din argilă. Un exemplu de identificare a sării după diagramele radioactive este prezentat în fig. XIII.24.

Intervalele cu sare pot fi ușor identificate pe curbele carotajului electric cu curenți focalizați (laterolog) și pe curbele carotajului de densitate. În multe situații, curba de densitate poate să contribuie la diferențierea sării gemă de anhidrit.

În evaluarea completă a oricărui zăcămint de sare gemă capătă o importanță deosebită cunoașterea raportului dintre fracțiunea solubilă și insolubilă. Pentru determinarea conținutului solubil-insolubil al sării pot fi aplicate cu succes metode indirecte care utilizează datele diagramei geofizice moderne (de densitate, acustice și neutronice). În țara noastră o evaluare de acest gen a fost efectuată de Neguț (1977) pentru sondele adînci de explorare a masivului de sare de la *Slătioarele-Argeș*. Datele integrate ale carotajelor gama, densitate și acustic au fost utilizate, de asemenea, pentru estimarea „in situ” a parametrilor elastici ai sării (modulul lui Young, coeficientul Poisson, modulul de elasticitate transversală și coeficientul de compresibilitate volumică).

Sărurile de potasiu și magneziu care prezintă interes practic sînt: silvina (KCl), carnalitul ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), langbeinitul ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), polyhalitul ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$) și kainitul ($MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$). Aceste minerale sînt radio-

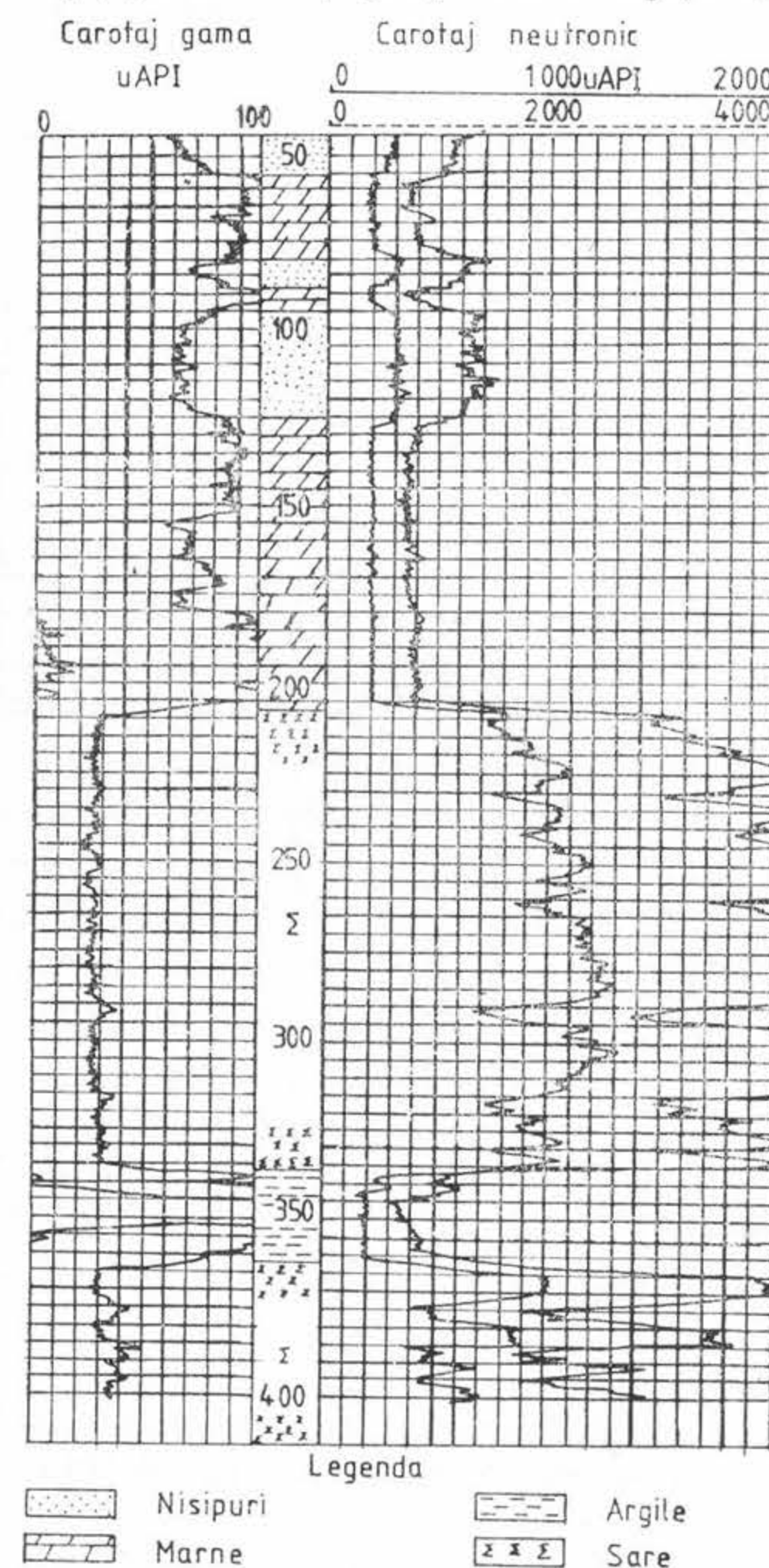


Fig. XIII.24. Identificarea sării după diagramele radioactive, *Slătioarele-Argeș*.

active, astfel că localizarea lor în profilul sondei se face cu ajutorul carotajului radiației gama naturale. O importantă detaliere poate fi făcută cu ajutorul carotajului neutron-gama, neutron-neutronic și gama-gama de densitate. Pe această bază se pot separa sărurile

de potasiu hidratate de cele fără apă de cristalizare și sărurile mai dense de cele mai puțin dense.

Uneori argilele au o radioactivitate naturală comparabilă cu a stratelor de săruri de potasiu. Diferențierea argilelor în acest caz este posibilă cu ajutorul carotajului acustic, deoarece argilele au un timp de parcurs mai mare decât amestecuri de sare gemă cu săruri de potasiu.

Un exemplu de diagrame geofizice înregistrate într-o sondă de explorare pentru săruri de potasiu din zona Cucuiești este prezentat în fig. XIII.25.

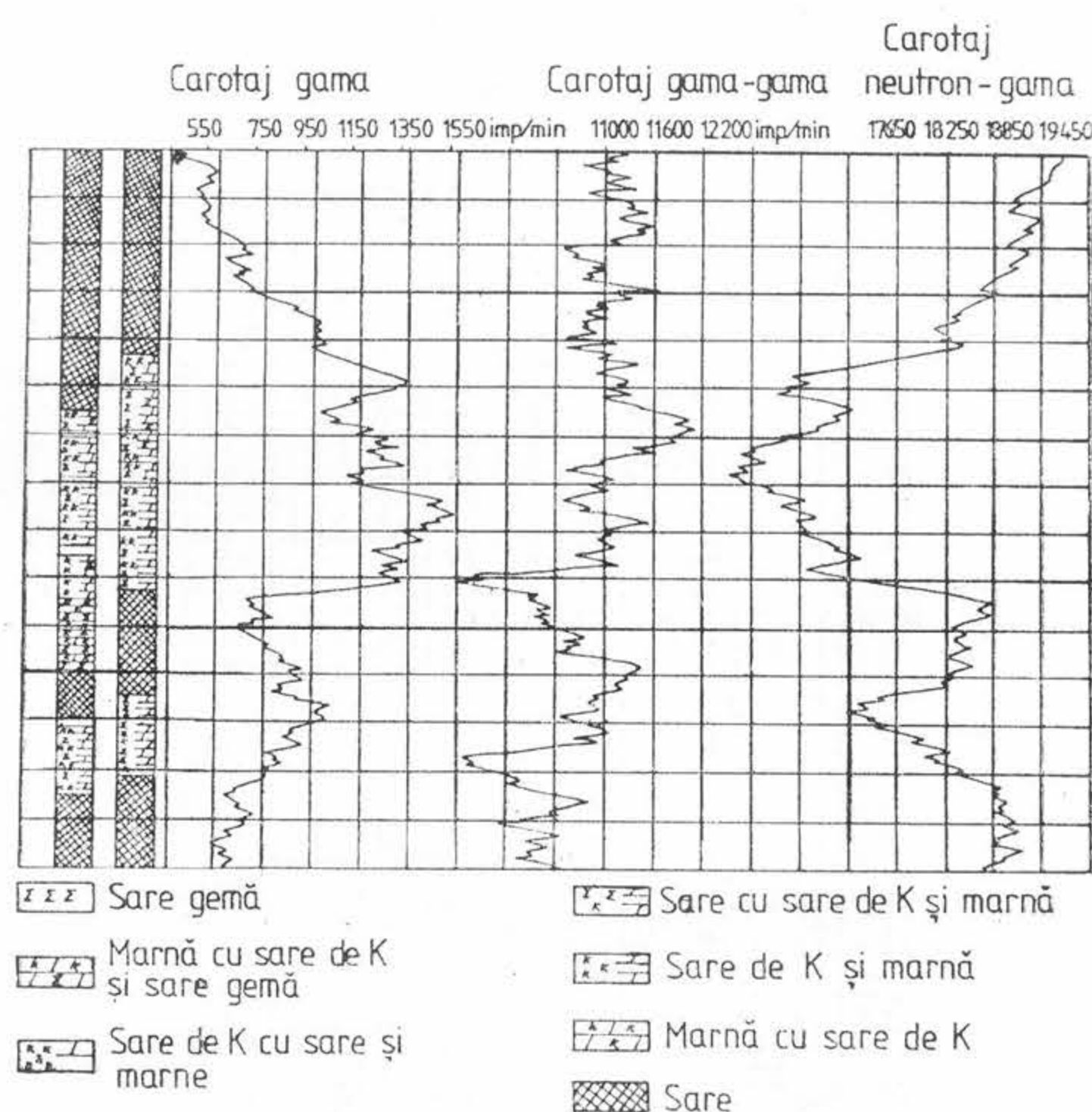


Fig. XIII.25. Identificarea zonelor cu săruri de potasiu după diagrame geofizice în zona Cucuiești (după IFLGS).

În marea majoritate a cazurilor, sărurile de potasiu se întâlnesc în amestecuri cu alte evaporite și adesea conțin impurități insolubile. Pe baza unui program complex de investigare geofizică este posibilă atât identificarea tipului minereului de potasiu și mănezii cât și determinarea cantitativă a fiecărei fracțiuni mineralogice (Tixier și Alger, 1970).

Gipsul ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) și **anhidritul** (CaSO_4) se localizează ușor cu ajutorul carotajului electric prin rezistivitatea lor foarte mare și carotajul radioactiv (gama și neutron-

gama sau neutron-neutronic). O netă diferențiere a gipsului de anhidrit se face cu ajutorul carotajului neutronic (datorită conținutului în apă de cristalizare a gipsului) și a carotajului de densitate, pe baza unui contrast de aproximativ $0,6 \text{ g/cm}^3$.

Grafitul este identificabil în primul rând prin carotajul electric—rezistivitate mică datorită conductibilității electronice și PS electropozitiv. Separarea rocilor cu grafit este asigurată dacă alături de carotajul electric se folosește și carotajul radioactiv (gama și gama-gama de densitate).

Pentru o serie de alte substanțe nemetalifere și roci utile (rocă cu sulf, baritină, fluorină, cuarțite, pegmatite cu mică, pegmatite cu feldspați, calcare, dolomită, cretă, nisipuri silicioase, argile), carotajul geofizic prin multitudinea de metode de care dispune poate întruni condiții optime de aplicabilitate, în măsura în care pentru explorare sunt utilizate sonde al căror diametru permite lansarea dispozitivelor geofizice.

În strânsă legătură cu condițiile geologice locale, aplicând un program optim de investigare geofizică, pentru fiecare substanță nemetaliferă de interes pot fi stabilite criteriile de identificare și chiar de evaluare cantitativă.

2.5. CĂRBUNI ȘI ROCI COMBUSTIBILE

2.5.1. CĂRBUNI

Cercetarea geofizică sistematică a sondelor săpate pentru cărbuni se face în două etape:

— o cercetare cu caracter informativ pe toată sonda forată, în scopul obținerii datelor inițiale pentru corelare, separarea principalelor tipuri de roci și a stratelor de cărbuni. Scara de adâncime utilizată este, de regulă, 1 : 200 ;

— o cercetare de detaliu, în scara de adâncime 1 : 50 sau 1 : 20, pe porțiuni selectate, pentru un control suplimentar privind prezența stratelor de cărbuni, determinarea grosimii lor exacte și precizarea poziției structurale.

Cele două etape nu sunt obligatorii ; în funcție de gradul de cunoaștere geologică a regiunii de lucru și condițiile particulare ale unui zăcămint explorat, investigarea poate fi făcută cu un complex de metode corespunzător unei etape sau alteia.

Alegerea corectă a dispozitivelor de lucru sau a metodei de carotaj geofizic depinde și de grosimea stratelor de cărbuni și a rocilor intercalate.

Proprietățile fizice ale cărbunilor variază în limite largi, în funcție de gradul de carbonificare. De aceea, criteriile de identificare a stratelor de cărbuni, în general, sunt diferite, în funcție de tipul cărbunilor și rocilor adiacente.

Investigarea sondelor săpate pentru cărbuni, în cele mai dese cazuri, cel puțin pentru țara noastră, se realizează cu un complex de metode electrice și radioactive.

Câteva exemple vor evidenția rolul carotajului geofizic în identificarea, delimitarea și evaluarea cărbunilor.

Cărbunii superiori, în particular **antracitul**, sunt identificați prin cele mai mici valori pe curbele de rezistivitate aparentă și prin valori mari, electropozitive, pe curbele de PS, așa cum se poate constata în exemplul din fig. XIII.26 pentru o sondă din zona Lupac. Rezistivitatea aparentă mică și PS-ul electropozitiv nu reprezintă însă un criteriu univoc în interpretare. Se pot întâlni situații când în mod analog se remarcă grafitul, rocile grafitoase și sisturile cărbunoase. De aceea, programul de investigare este completat cu

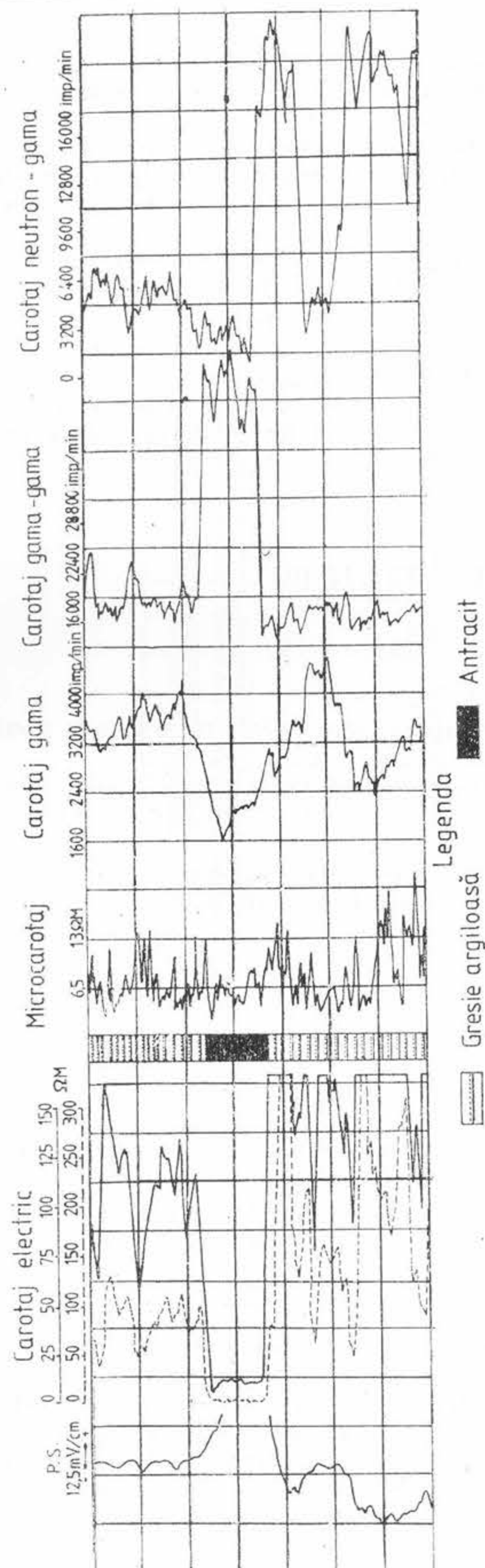


Fig. XIII.26. Diagrama geofizică complexă pentru identificarea antracitelor în zona Lupac-Anina (după IFLGS).

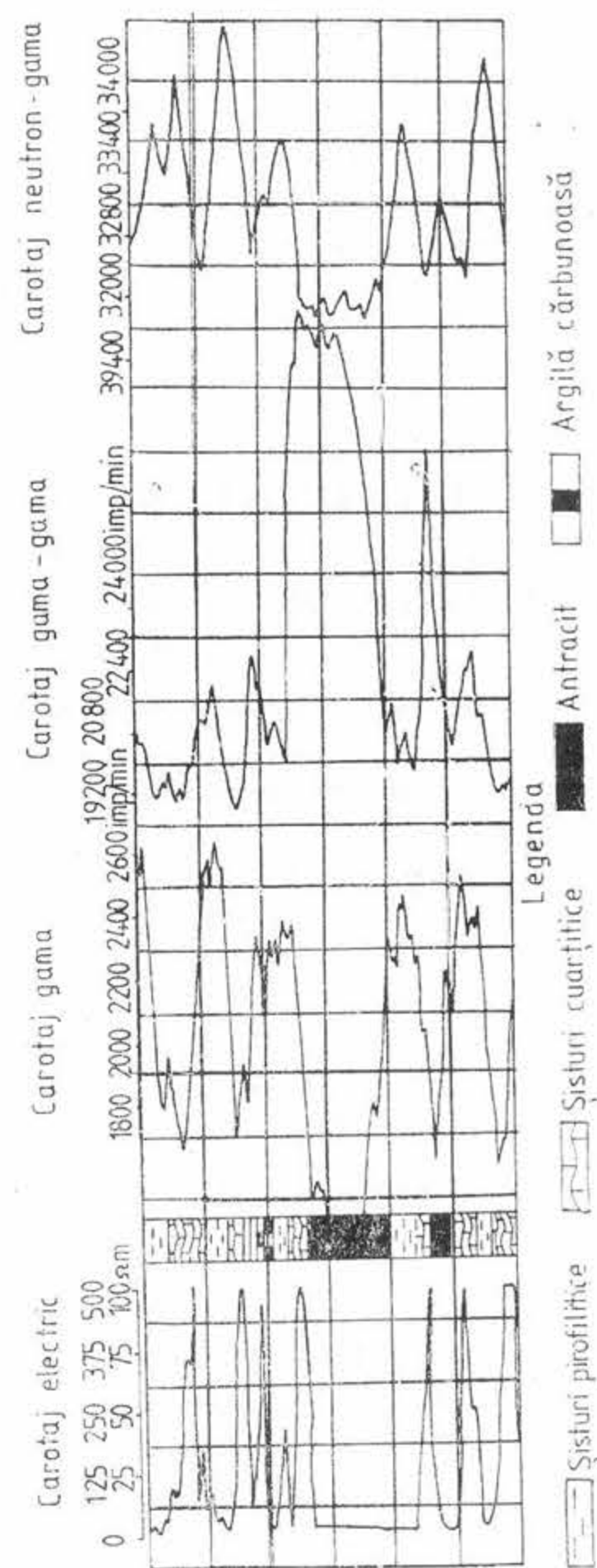


Fig. XIII.27. Identificarea antracitelor din zona Viesuroiu după diagramele geofizice (după IFLGS).

metode de carotaj radioactiv (gama, gama-gama și neutron-gama). Antracitele se manifestă prin minime pe carotajul gama și maxime evidente pe carotajul gama-gama, datorită contrastului de densitate important (de circa $0,6 \text{ g/cm}^3$) pe care-l realizează în raport cu gresiile și gresiile argiloase adiacente. Plasarea limitelor și determinarea grosimii stratului de antracit sînt asigurate cu ajutorul curbelor de rezistivitate și gama-gama. Curba neutron-gama răspunde la conținutul în hidrogen al stratului de antracit; minimul înregistrat se explică prin apa din noroi care pătrunde în stratul de cărbune pe raza de investigație a dispozitivului utilizat.

În mod asemănător se manifestă stratele de antracit în alt context geologic, față de șisturile cuarțitice și pirofilitice adiacente, la Viesuroiu (fig. XIII. 27). Rezistivitatea foarte mică și constantă poate fi pusă în legătură cu omogenitatea stratului de cărbune. Se observă că în acest caz, PS-ul, deși ușor electropozitiv, nu mai este definitoriu ca în cazul precedent. Șisturile pirofilitice, deși au rezistivitate mică, se diferențiază net de stratele de cărbuni prin amplitudini mari pe curba radiației gama naturale; la rîndul lor, șisturile cuarțitice se separă de șisturile pirofilitice prin rezistivitate mare și radioactivitate scăzută.

Huilele pot fi identificate pe baza valorilor mari ale rezistivității și radiației gama dispersate. Modul de manifestare pe curba radiației gama naturale depinde de conținutul în cenușă. Huilele cu conținut mare în cenușă, ca și șisturile carbunoase dau maxime pe curba gama, iar cele cu conținut mic în cenușă, minime. Pe curbele neutron-gama, huilele se remarcă prin minime, cu observația că amplitudinea anomaliilor variază în funcție de conținutul în apă.

Cărbunii bruni și lignitul se separă relativ simplu, comparînd curbele de rezistivitate aparentă, gama, gama-gama și neutron-gama. Rezistivitatea lignitului, de regulă mai mare decît a rocilor adiacente, poate varia într-un domeniu larg în funcție de conținutul în cenușă și umiditate. Minimul de radioactivitate naturală asociat cu maximul de pe curba gama-gama de densitate reprezintă un criteriu sigur de identificare a lignitului, ca de altfel și a altor tipuri de cărbuni.

Un exemplu deosebit de sugestiv de identificare a cărbunilor după diagramele geofizice este dat în fig. XIII.28, pentru o sondă din Valea Jiului (Lonea). Curbele gama-gama și de rezistivitate permit delimitarea cu mare precizie, pe de o parte a cărbunilor, iar pe de altă parte a intercalațiilor sterile. Grosimea netă a cărbunilor, după cum este cunoscut, reprezintă un parametru important pentru evaluarea corectă a rezervelor.

Deși radioactivitatea naturală scăzută a cărbunilor este o caracteristică generală, nu se poate folosi exclusiv acest criteriu, deoarece există cărbuni cu radioactivitate, uneori mai mare decît a argilelor adiacente. Cărbuni radioactivi au fost întîlniți în bazinul Văii Jiului (Bacîru, 1966) și pe zonele mai noi, încă în explorare, din județul Mehedinți (Prunișor, Livezile, Husnicioara, Ghelmeșioara).

În fig. XIII.29 se prezintă un exemplu de diagramă geofizică complexă a unei sonde din zona Prunișor. Este de observat mai întîi că diagramele electrice permit determinarea naturii litologice a formațiunilor traversate de sondă și separarea orizonturilor poroase-permeabile, în particular, a orizonturilor acvifere, dar nu identifică stratele de cărbuni. Carotajul radioactiv, mai ales carotajul gama-gama, identifică stratele de cărbuni prin valori foarte mari în raport cu rocile adiacente (argile, nisipuri). Carotajul radiației gama naturale a pus în evidență existența unor cărbuni radioactivi.

Pe baza celor cîteva exemple prezentate se poate deduce cu ușurință capacitatea carotajului geofizic de a indica natura litologică a formațiunilor și a identifica stratele de cărbuni; de asemenea, carotajul geofizic asigură delimitarea unor repere caracteristice, inclusiv a straturilor de cărbuni radioactivi, care s-au dovedit a fi de o importanță deosebită în realizarea sinonimiei straturilor de cărbuni și clarificarea condițiilor structurale și de

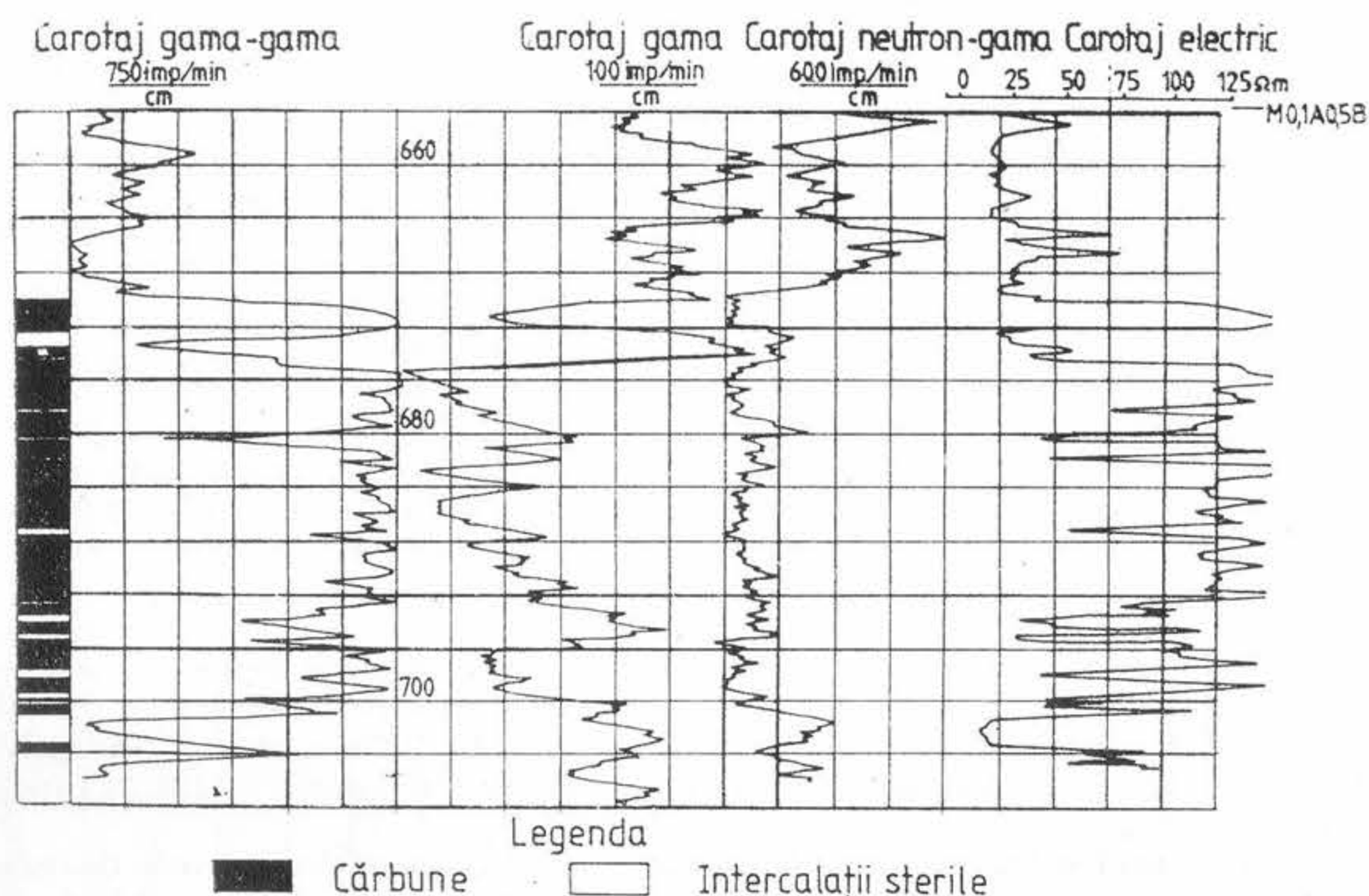


Fig. XIII.28. Diagrama geofizică complexă pentru identificarea cărbunilor în Valea Jiului (Lonea) (după IFLGS).

zăcămint, mai ales când reperele identificate au o extindere regională. Este cunoscută importanța reperului de corelare numit *reper de bază*, identificat pe diagramele radioactive în corelarea pe baze obiective a straturilor de cărbuni în bazinul *Văii Jiului* (Bacîru, 1966).

Carotajul geofizic asigură delimitarea în profilul traversat a formațiunilor poroase-permeabile, care în majoritatea cazurilor corespund unor orizonturi acvifere. O informație deosebit de utilă obținută din carotajul geofizic este identificarea acviferelor cu nivel liber și determinarea poziției nivelului hidrostatic. Un exemplu de acest fel se vede în fig. XIII.30, în care poziția nivelului hidrostatic este marcată printr-un salt de rezistivitate caracteristic, controlat și corelat foarte bine cu un salt de același fel pe curba neutron-gama. Deoarece un astfel de *model* poate fi asociat și unei treceri de la un orizont nisipos curat în partea superioară, la un orizont mai argilos în partea inferioară sau unei schimbări în dimensiunile granulelor de nisip, pe o zonă specifică, datele carotajului geofizic trebuie să fie completate cu determinări directe ale nivelului hidrostatic în sondele de cercetare hidrogeologică.

Implicațiile unor astfel de informații indirecte, în proiectarea și realizarea lucrărilor miniere de explorare și exploatare, sînt evidente.

Identificarea și delimitarea calitativă, precum și evaluarea cantitativă complexă a cărbunilor pot fi făcute dacă programul de investigare realizat cuprinde cele mai moderne metode de carotaj: acustic, densitate, neutron-neutronic, gama, microcarotaj, laterolog și cavernometrie. În țara noastră o astfel de evaluare a fost realizată de Negoită (1980) pentru stratele de cărbuni cuprinse într-o succesiune nisipuri-argile.

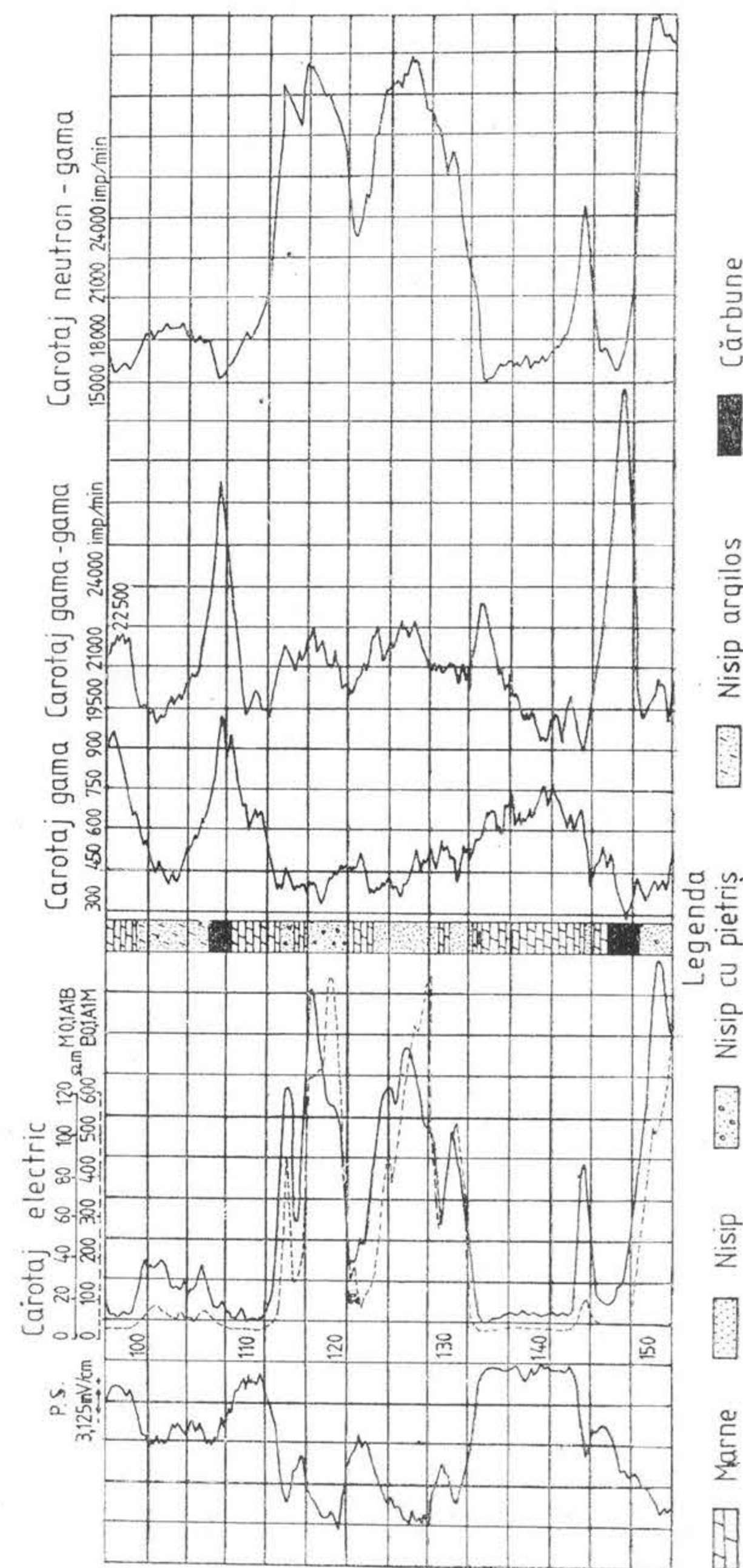


Fig. XIII.29. Diagrama geofizică complexă pentru cărbuni în zona Prunișor, jud. Mehedinți (după IFLGS).

Determinarea conținutului în cenușă al cărbunilor. Pentru aprecierea calității straturilor de cărbuni, unul dintre parametrii principali care trebuie să fie cunoscuți este conținutul în cenușă. Pentru aceasta, metoda gama-gama de densitate are cea mai largă aplicabilitate. Deoarece densitatea impurităților minerale este mai mare decât densitatea

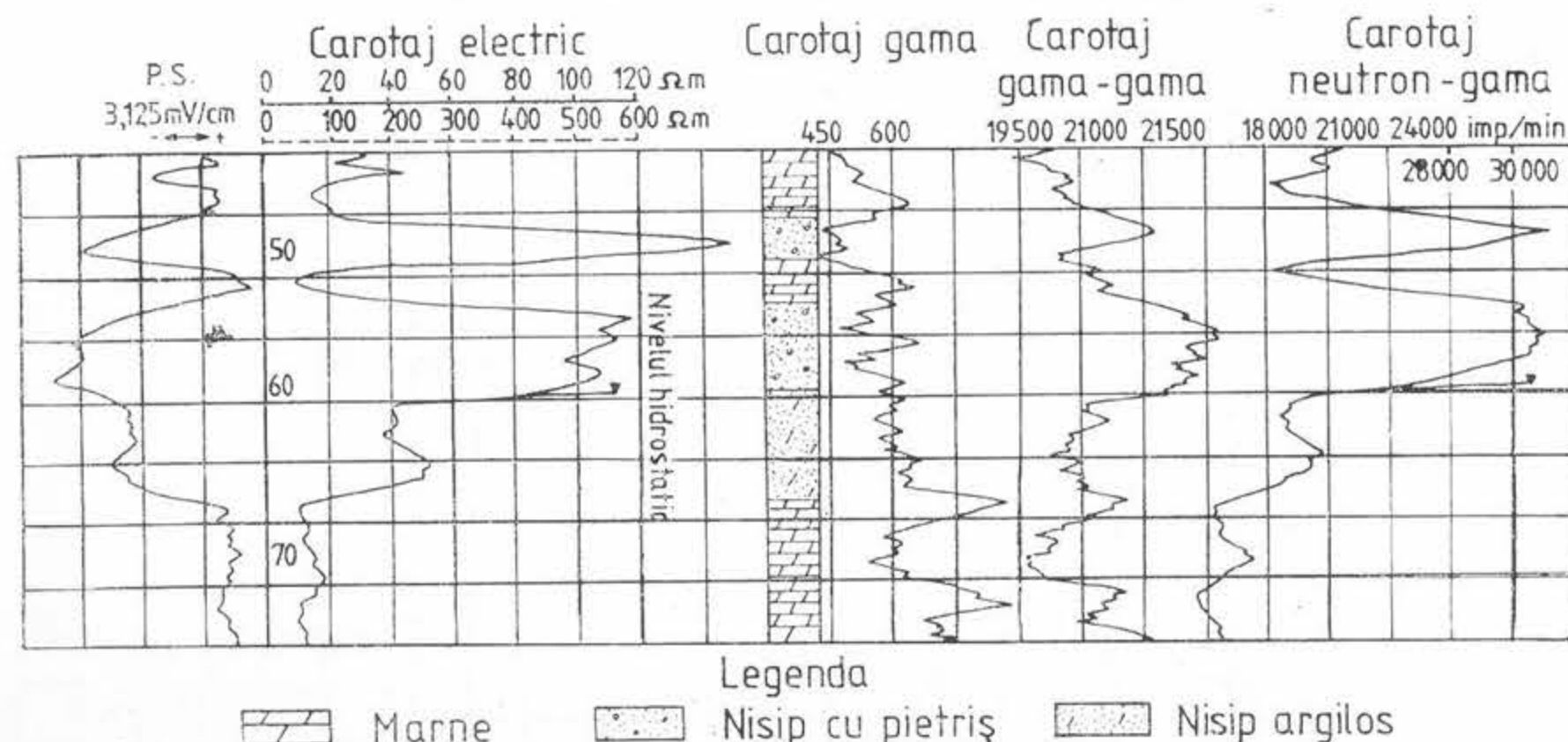


Fig. XIII.30. Exemplu de determinare a nivelului hidrostatic în acviferele cu nivel liber din zona Prunișor, după diagramele geofizice.

masei cărbunoase de orice tip, creșterea conținutului în cenușă se manifestă într-o creștere corespunzătoare a densității. Între conținutul în cenușă și densitate există o dependență aproape funcțională, liniară, de tipul celei prezentate în fig. XIII.31. Astfel, dacă se dispune de un carotaj gama-gama de densitate calibrat în unități de densitate, este posibil

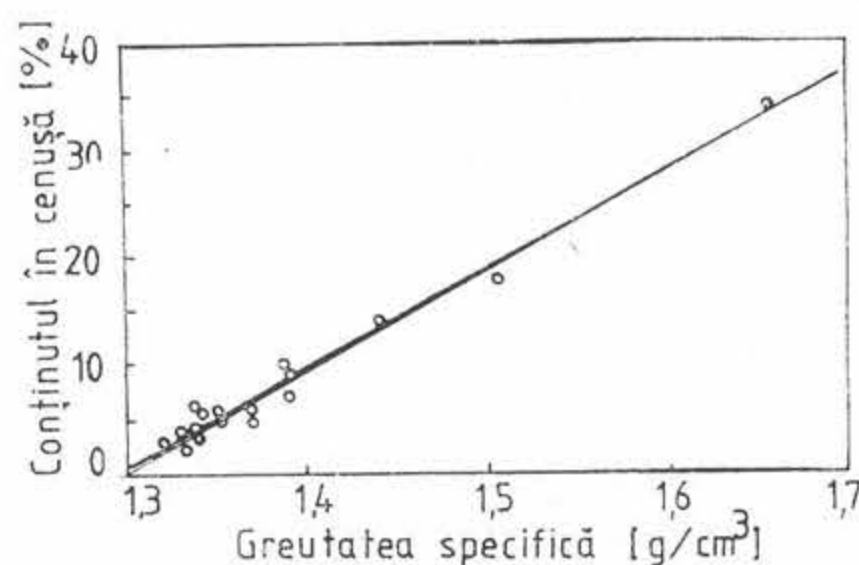


Fig. XIII.31. Dependența între densitate și conținutul în cenușă (după Tixier și Alger).

să se construiască graficul dependenței conținutului în cenușă de densitate pentru straturile în care aceasta este cunoscută prin analize de laborator. O dată determinată această dependență pentru anumite straturi sau complexe carbonifere, la sondele noi, evaluarea conținutului în cenușă este imediată.

Pentru estimarea conținutului în cenușă a cărbunilor se poate utiliza, de asemenea, carotajul radiației gama naturale, plecând de la constatarea că cenușa este constituită în cea mai mare parte din argilă. Astfel, cu cât cantitatea de cenușă este mai mare, cu atât radioactivitatea cărbunilor este mai mare. O dată stabilit caracterul dependenței

dintre intensitatea radiației gama naturale și conținutul în cenușă pentru un anumit orizont sau strat de cărbune, diagramele înregistrate în sonde noi care au traversat aceste straturi pot fi folosite foarte simplu la determinarea conținutului în cenușă, fără a fi nevoie de carotaj mecanic.

Problema se reduce, deci, la determinarea conținutului în argilă după curba gama. Se calculează mai întâi parametrul:

$$\Delta J_{\gamma} = \frac{I_{\gamma, x} - I_{\gamma, \min}}{I_{\gamma, \max} - I_{\gamma, \min}},$$

unde: $I_{\gamma, \max}$ este radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat de argilă;
 $I_{\gamma, \min}$ — radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat fără argilă (nisipuri, gresii, calcare sau chiar straturi de cărbuni);
 $I_{\gamma, x}$ — radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat cu conținut x în argilă.
 Apoi, conținutul în argilă se calculează cu relațiile:

$$C_{a, \gamma} = 0,083 (23,7 \Delta J_{\gamma} - 1,0),$$

pentru formațiuni terțiare și,

$$C_{a, \gamma} = 0,33 (22 \Delta J_{\gamma} - 1,0),$$

pentru formațiuni geologice mai vechi.

Graficul din fig. XIII.32 rezolvă ecuațiile de mai sus

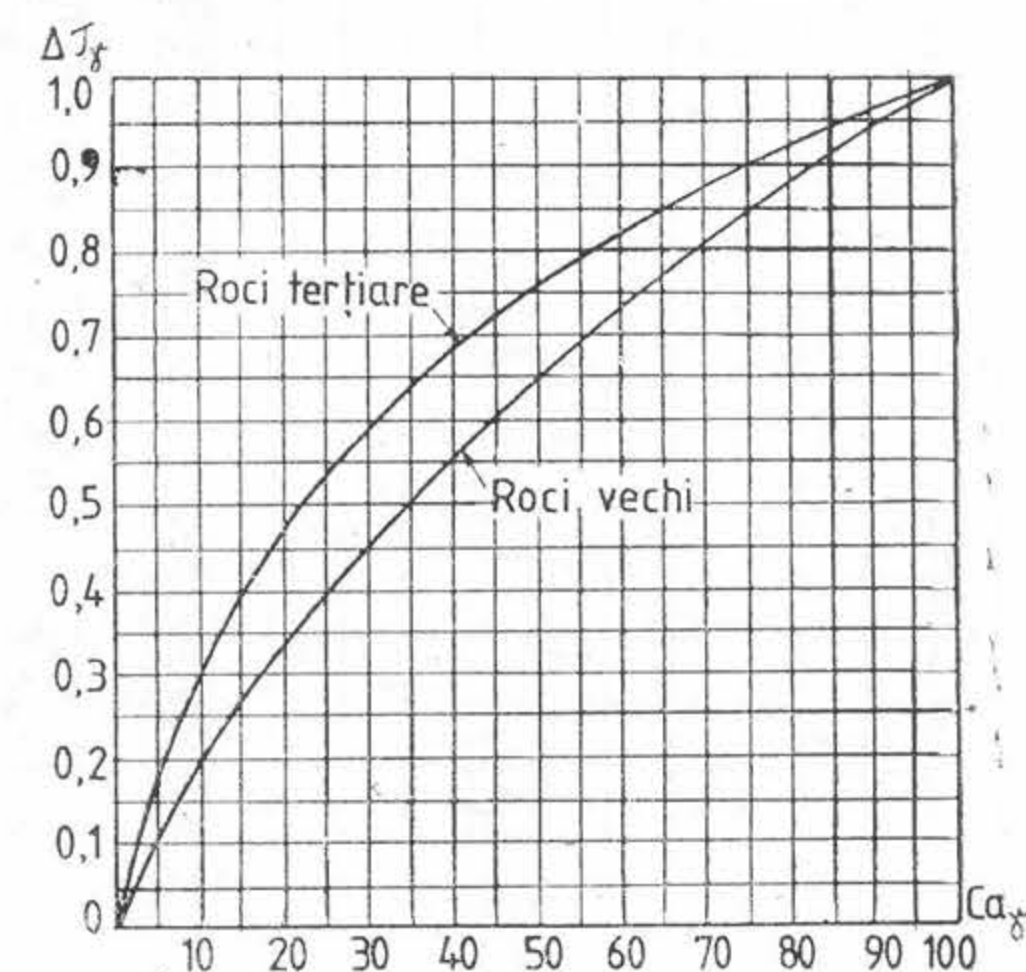


Fig. XIII.32. Graficul de determinare a conținutului în argilă după carotajul gama (după Dresser Atlas).

Procedul are două limitări și anume:

— cenușa are o compoziție complexă și, pe lângă substanța argiloasă, conține cuarț și alte formațiuni minerale depuse pe crăpăturile cărbunilor, care nu sînt radioactive;

— radioactivitatea cărbunilor este determinată nu numai de conținutul în argilă ci și de concentrarea unor substanțe radioactive în masa cărbunilor.

Totuși, această cale de determinare a conținutului în cenușă poate fi utilizată, deoarece carotajul gama intră în complexul curent de investigare a sondelor săpate pentru cărbuni.

Pentru determinarea conținutului în cenușă pot fi experimentate și aplicate și alte procedee indirecte, plecând de la datele carotajelor de rezistivitate gama-gama selectiv, neutron-gama sau de activare.

2.5.2. ȘISTURI BITUMINOASE

Carotajul geofizic este aplicat cu succes la identificarea, delimitarea și evaluarea șisturilor bituminoase. Programul de investigare este în general complex, alcătuit din carotaj electric, radioactiv (gama, gama-gama și neutronic), acustic și cavernometrie. Un exemplu dintr-o sondă de explorare din zona Anina este prezentat în fig. XIII.33.

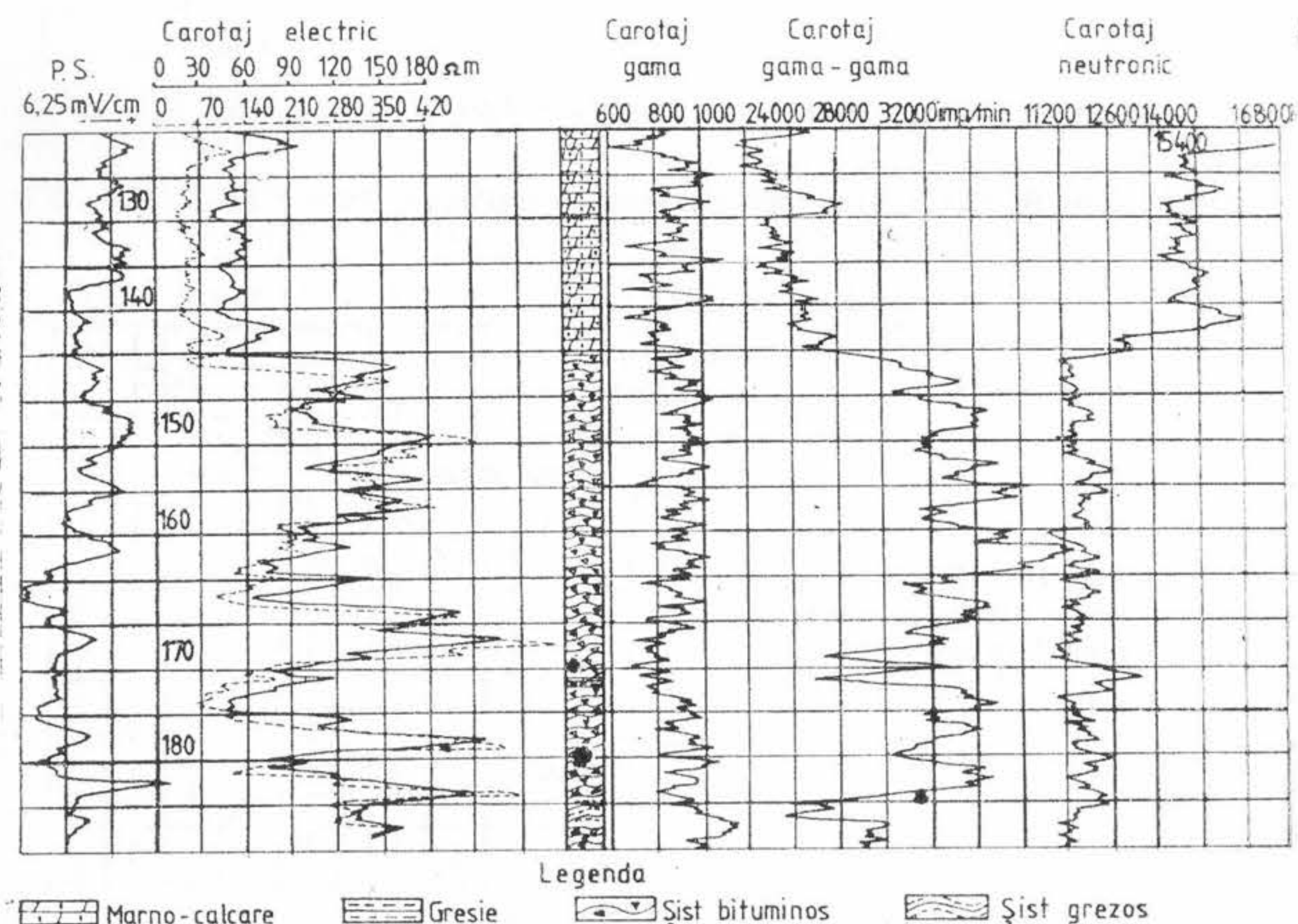


Fig. XIII.33. Diagramă geofizică complexă pentru șisturi bituminoase în zona Anina după IFLGS).

Șisturile bituminoase sunt delimitate cu siguranță, în raport cu marnocalcarele adiacente superioare, atât prin carotajul de rezistivitate cit și prin carotajele gama-gama de densitate și neutron-gama. Conținutul în materie organică al șisturilor explică rezistivitatea mare,

densitatea mică (maxime pe curba gama-gama) și conținutul mare în hidrogen (minim pe curba neutron-gama). Curba radiației gama naturale nu diferențiază, de regulă, șisturile bituminoase în raport cu marnocalcarele superioare, dar, poate preciza limita inferioară a pachetului de șisturi la intrarea în gresii în care, de obicei, forajele de explorare sînt oprite.

Variația conținutului în materie organică a șisturilor bituminoase este pusă în evidență cel mai bine prin modificarea densității rocii. De altfel, carotajul de densitate s-a aplicat cu succes la evaluarea cantitativă a șisturilor bituminoase (Smith et al., 1968). Unele limitări apar datorită existenței în masa șisturilor a unor cristale de NaHCO_3 cu o densitate mult mai mică decît a fracțiunii mineralogice pelitice și de existența unor goluri rămase în masa rocii prin dizolvarea acestui mineral. În ambele cazuri, în carotaj se înregistrează o densitate mai mică, nelegată de creșterea conținutului în materie organică.

Pe baza corelației între conținutul de materie organică și densitatea înregistrată în carotaj, pentru fiecare zonă cercetată pot fi stabilite, cu metodele standard de regresie, ecuațiile care leagă răspunsul carotajului de densitate de conținutul util. O dată stabilită o astfel de corelație, pentru sondele noi de explorare este suficient să se înregistreze numai carotajul de densitate; în acest caz conținutul în materie organică al șisturilor bituminoase, în orice etapă a explorării, poate fi cunoscut cu o precizie suficient de bună.

XIV. EVALUAREA REZERVELOR ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

**Ing. VIOREL VIERESCU
Dr. ing. IULIU SILAȘ**

1. PRINCIPII GENERALE

Fondul național de rezerve geologice de substanțe minerale utile se constituie pe baza rezervelor geologice evaluate pe zăcămintele de substanțe minerale utile, luând în considerare datele rezultate din lucrările de prospecțiune, explorare și exploatare, precum și din studiile tehnologice, tehnice și economice efectuate în diferite etape.

Rezervele geologice reprezintă cantitățile de substanță minerală utilă caracterizată din punct de vedere al calității și al condițiilor de zăcămint, în funcție de gradul de cunoaștere realizat prin lucrările executate, calculate așa cum se găsesc în zăcămint, fără a lua în considerare modificările ce pot surveni în procesul de exploatare (pierderi, diluții).

Cantitatea se exprimă în tone (t) aproape la toate substanțele și în metri cubi (m³) în mod special la rocile de construcție (marmură, nisip și pietriș etc.).

Calitatea este diversificată în funcție de substanță și, de obicei, exprimă elementul util sau dăunător în procente (%) la minereuri neferoase, feroase, bauxită și altele sau gram/tonă (g/t) pentru minereuri auro-argentifere, elemente rare; pentru unele substanțe nemetalifere și roci utile calitatea este caracterizată de o serie de parametri fizici (grad de alb la caolin, indice pirometric la argile refractare etc.), iar pentru cărbuni — putere calorifică, procent de cenușă, umiditate etc.

Evaluarea rezervelor geologice constituie totalitatea operațiilor care, luând ca bază datele rezultate din lucrările de cercetare geologică și exploatare, conduce la stabilirea cantității, calității și condițiilor unui zăcămint, pe o porțiune delimitată precis în spațiu.

Pentru a evita și micșora pe cât posibil erorile și uneori subiectivismul de care este legată evaluarea rezervelor, urmare selecționării datelor și interpretărilor geologice și pentru a obține elemente de calcul cât mai aproape de realitate, se impune respectarea cu strictețe a câtorva principii de bază:

— parametrii care exprimă cantitatea (grosime, masă volumetrică) și parametrii care exprimă calitatea să fie determinați din același loc și pe baza aceleiași probări;

— evaluarea să fie făcută pe unități de calcul, delimitate precis în spațiu;

— să existe o identitate perfectă între reprezentarea geologică și cea folosită la calculul rezervelor pe profile, secțiuni orizontale, unități de calcul și în ansamblu;

— să se urmărească ca punctele de probare să fie amplasate pe o rețea cât mai regulată; cu cât zăcămintul este mai neuniform și complicat, cu atât rețeaua să fie mai deasă, iar lucrările mai regulat amplasate;

— în cadrul fiecărei etape de cercetare, la nivelul corespunzător gradului de detalieri și cunoaștere propus, să se efectueze studii tehnologice, tehnice și economice, având în vedere că noțiunea de rezervă geologică este în strinsă legătură cu noțiunea de zăcămint, care în ultimă instanță reprezintă o entitate economică;

— pentru a aprecia gradul de precizie realizat, în toate etapele să se efectueze calcule statistice și geostatistice și să se creeze posibilitatea comparării datelor, în anumite zone din zăcămint, cu datele de detaliu realizate pe porțiuni restrinse în același zăcămint;

— să se evite supraevaluarea rezervelor cu un mic grad de cunoaștere, considerându-se că corectarea rezervelor se va face ulterior prin promovarea acestora de la o categorie inferioară la alta superioară;

— în toate operațiile de calcul și clasificare a rezervelor să se țină seama de toți factorii geologici și în mod deosebit de tendințele de efilare, slăbire și discontinuitate a mineralizației, grad de tectonizare, oxidare etc.

2. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE

2.1. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ GRADUL DE CUNOAȘTERE

După gradul de cunoaștere, rezervele geologice se clasifică în categoriile A, B, C₁ și C₂ și rezerve de prognoză (D).

Rezervele A, B și C₁ se calculează pe baza parametrilor măsurati (rezerve măsurate).

Rezervele C₂ se calculează pe bază de parametri deduși sau indicați (rezerve indicate).

Rezervele de prognoză (D) se estimează pe bază de parametri presupuși sau ipotetici (rezerve ipotetice).

Suma rezervelor A + B + C₁ + C₂ + D o constituie resursa totală sau potențială a unei zone sau provincii metalogenetice luată în ansamblul său.

Pentru gradul de cunoaștere, până în prezent în normativele în vigoare nu sînt stabilite condiții impuse exprimate valoric; de regulă clasificarea rezervelor în categorii se face pe baza unor criterii sau aprecieri.

Orientativ se pot avea în vedere pentru cantitatea de substanță utilă (de exemplu metalul în minereurile neferoase) procentele de certitudine cuprinse în tabelul XIV.1 care caracterizează gradul de cunoaștere (sau gradul de certitudine).

Tabelul XIV.1

Certitudinea rezervelor după gradul de cunoaștere, în %

Specificație	A	B	C ₁	C ₂	D
Pe unitatea de calcul	70	60	50	25	—
Pe întregul zăcămint	90	80	70	50	30
Pe întreaga zonă sau provincie metalogenetică	—	—	—	—	25

Clasificarea în categorii (A, B, C₁ și C₂) a rezervelor cuprinse în limitele unităților de calcul constituie o operație complexă și se face aplicând cu mult discernămint criteriile prevăzute în normativul în vigoare, ținând seama de clasa în care este încadrat zăcămintul.

Încadrarea zăcămintelor în clase se face pe baza factorilor naturali determinați în mare măsură de condițiile de zăcămint.

Normele metodologice în vigoare cuprind 3 clase de zăcămint:

Zăcămintele din clasa I-ii au forme și contur regulat, o variație mică a distribuției componentelor utili și prezintă dimensiuni mari.

Zăcămintele din clasa a II-a au forme și contur neregulat, o variație relativ mică a distribuției componentelor utili și sînt de dimensiuni mijlocii.

Zăcămintele din clasa a III-a au forme și contur foarte neregulat, o variație mare a distribuției componentelor utili și sînt de dimensiuni variate.

Definirea generală a categoriilor de rezerve are la bază următoarele criterii:

Rezervele de prognoză (D) sînt estimate și apreciate pe baza factorilor și condițiilor geologice generale care pot fundamenta emiterea unei ipoteze privind formarea și acumularea substanțelor minerale utile solide în unele regiuni, în vederea aprecierii perspectivelor acestora; de asemenea, sînt estimate în extinderea rezervelor de categoria C₂.

Categoria C₂ cuprinde rezervele cercetate cu lucrări izolate, în număr mic și la distanțe mari, sau extrapolate de la rezervele de categorii superioare.

Categoria C₁ cuprinde rezervele calculate prin interpolarea datelor între lucrări miniere și foraje, executate separat sau împreună, prin extrapolarea de la rezervele de categoria A și B, precum și prin extinderea datelor obținute într-un aliniament de cercetare, de o parte și de alta a acestuia (la zăcămintele din clasa I și II).

Categoria B cuprinde rezervele delimitate în panouri de exploatare sau trepte de carieră și rezervele calculate prin interpolare între lucrările miniere sau foraje executate separat sau împreună, la o rețea corespunzătoare clasei respective.

Categoria A cuprinde rezervele delimitate în panouri de exploatare sau în trepte de carieră; există rezultate confirmate prin exploatare.

Definirea generală a categoriilor de rezerve se completează cu criteriile ce condiționează clasificarea rezervelor în categorii care sînt: obligatorii, orientative și aprecieri.

Criteriile obligatorii se aplică indiferent de clasa în care este încadrat zăcămintul, după cum se arată în tabelul XIV.2.

Criteriile orientative se referă în principal la:

— clasificarea în categorii pe baza condițiilor impuse de gradul de cunoaștere exprimat în % (tabelul XIV.1), care se determină pe bază de calcule statistice și geostatistice;

— executarea unei anumite rețele de lucrări și delimitarea panoului de un anumit număr de laturi, în funcție de substanță și clasa în care este încadrat zăcămintul; este indicat ca rețeaua să se stabilească pe bază de studii statistice și geostatistice care ulterior să fie verificate prin analize cu privire la gradul de regăsire al rezervelor în procesul de producție. În tabelul XIV.3 se prezintă rețeaua de lucrări care orientativ poate servi la explorarea și clasificarea rezervelor în categorii pentru minereuri neferoase.

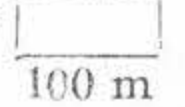
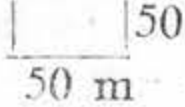
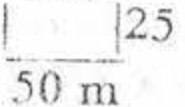
Aprecieri. În general, parametrii privind cantitatea rezervelor, calitatea acestora precum și condițiile de zăcămint sînt:

- presupuse la rezervele de prognoză (D)
- cunoscute orientativ la categoria C₂;
- cunoscute informativ la categoria C₁;
- cunoscute la categoria B;
- cunoscute în detaliu la categoria A.

Tabelul XIV.2
Criteriile obligatorii de încadrare a rezervelor în categorii

Specificație	A	B	C ₁	C ₂	D
<i>Etapa de cercetare</i>					
Prospecțiune	Nu	Nu	Nu	Da	Da
Explorare					
— preliminară	Nu	Nu	Da	Da	Nu
— de detaliu	Da	Da	Da	Nu	Nu
Exploatare	Da	Nu	Nu	Nu	Nu
<i>Studii tehnologice</i>					
Laborator	Nu	Nu	Nu	Da	Nu
Pilot	Nu	Nu	Da	Nu	Nu
Semiindustrial	Nu	Da	Nu	Nu	Nu
Industrial	Da	Nu	Nu	Nu	Nu
<i>Studii economice</i>					
Aprecieri	Nu	Nu	Nu	Da	Da
Studii de etapă	Nu	Nu	Da	Da	Nu
Studii de condiții industriale	Da	Da	Da	Nu	Nu
Studii economice, proiecte de exploatare	Da	Da	Nu	Nu	Nu

Tabelul XIV.3
Clasificarea rezervelor pe categorii după gradul de cunoaștere (conturare)

Încadrarea zăcămintului	Lucrări de explorare	A	B	C ₁	C ₂
Clasa I	Lucrări miniere  50 m 100 m	3 laturi	2 laturi	1 latură	—
	Foraje dispuse pe o rețea pătratică sau dreptunghiulară	—	50—100m	100—200 m	peste 200 m
Clasa II	Lucrări miniere  50 m 50 m	4 laturi	2—3 laturi	1—2 laturi	1 latură
	Foraje	—	—	50—100m	100—200m
Clasa III	Lucrări miniere  25 m 50 m	—	3—4 laturi	2—3 laturi	1—2 laturi
	Foraje	—	—	—	50—100 m

2.2. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ GRADUL DE PREGĂTIRE

După gradul de pregătire, ținând seama de condițiile impuse de producție, rezervele geologice se împart în:

- *rezerve deschise*, care au condițiile create pentru a începe, în raza lor, lucrările de pregătire în vederea exploatarei, având asigurate posibilitățile de transport al materialului în condițiile de securitate minieră;
- *rezerve pregătite sau gata pentru exploatare* unde pot începe lucrările de abataj impuse de metoda aleasă, în condiții totale de securitate minieră;
- *rezerve în curs de exploatare* situate în panourile intrate în exploatare.

2.3. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ POSIBILITĂȚILE DE VALORIFICARE

După posibilitățile de valorificare, în condițiile tehnico-economice existente și în perspectivă, rezervele geologice se clasifică în următoarele grupe:

- *rezerve geologice de bilanț*, cuprinzând rezervele care din punct de vedere tehnic și economic pot constitui obiect de valorificare în condițiile cerințelor actuale ale economiei naționale, fără restricții impuse de avizele legale (construcții, amenajări hidrotehnice, terenuri agricole, rezervații, monumente etc.);
- *rezerve geologice în afară de bilanț*, cuprinzând rezervele care în prezent nu pot constitui obiect de valorificare, în condițiile cerințelor economiei naționale, dar se apreciază că prin progresul tehnic sau prin schimbarea condițiilor economice actuale, pot fi valorificate în viitor.

2.3.1. CONDIȚII INDUSTRIALE ALE ZĂCĂMINTELOR

Indiferent de stadiul de cercetare în care se află zăcămintul, concomitent cu evaluarea rezervelor este necesar să se stabilească sau să se aprecieze în linii mari și condițiile economice, în vederea clasificării rezervelor în bilanț sau în afară de bilanț.

Pentru a putea fi valorificate, zăcămintele trebuie să îndeplinească unele cerințe privind cantitatea, calitatea, condițiile de zăcămint geologic-miniere precum și condițiile economice de valorificare, denumite *condiții industriale*.

Principalele condiții industriale pe tipuri de zăcămint sunt:

a) **Pentru minereuri neferoase, auro-argentifere, feroase:**

- *conținutul mediu minim* în component util echivalent al rezervelor clasificate în grupa de bilanț pe întreg zăcămintul;
- *conținutul mediu minim* în component util echivalent pe unitatea de calcul, pentru rezervele clasificate în grupa de bilanț;
- *conținutul minim limită* în component util echivalent pe probe, pe baza căruia se face conturarea rezervelor de bilanț în cazul existenței unor trecceri gradate de la util la steril;
- *conținutul mediu minim* în component util echivalent pe unitatea de calcul, pentru rezervele clasificate în grupa în afară de bilanț;

- *conținutul mediu maxim* admis pe unitatea de calcul, pentru componenții dăunători, în vederea conturării rezervelor de bilanț.

Caracteristicile principale care determină separarea sorturilor industriale:

- *coeficientul de mineralizare* minim admis pe unitatea de calcul în cazul existenței intercalațiilor sterile care nu pot fi conturate pe baza lucrărilor de cercetare executate, dar care pot fi îndepărtate în procesul de exploatare;
- *grosimea maximă admisă* a intercalațiilor sterile care se includ în calculul rezervelor;
- *grosimea minimă* a corpurilor de substanță minerală utilă care se ia în considerare în calculul rezervelor, în funcție de conținuturile în componenți utili și dăunători sau *puterea minimă* care se definește ca produs al grosimii minime cu conținutul mediu minim pe panou;
- *adâncimile maxime* până la care se calculează rezervele de bilanț respectiv în afară de bilanț, pentru zăcămintele exploatabile în carieră, în subteran sau mixt, luându-se în considerare și condițiile hidrogeologice ale zăcămintului;

— *coeficientul maxim de descoperțare* pentru rezervele exploatabile în carieră.

Conținutul în component util echivalent se exprimă în unități de component util principal și se calculează în mod distinct pe sorturi industriale, prin echivalarea componentelor utili secundari în component util principal, ținând seama de valoarea componentelor.

Pentru zăcămintele exploatabile în subteran este necesar să se examineze mai multe variante de conținut mediu minim pe unitatea de calcul și zăcămint, în cazul mineralizațiilor cu limite nete, iar dacă mineralizația are limite difuze, este necesar să se studieze și variante cu conținut limită.

Pentru zăcămintele exploatabile în carieră este necesar să se examineze variante de conținut limită și conținut mediu minim pe zăcămint, variante de adâncime maximă de exploatare în carieră și în subteran și de indici de exploatare.

Determinarea parametrilor care definesc condițiile industriale precum și detaliera variantelor de calcul se face în funcție de condițiile geologice-miniere în care se află zăcămintul și de natura substanței minerale utile

b) **Pentru cărbuni:**

- condițiile de calitate se stabilesc pentru puterea calorifică și conținutul în cenușă;
- condițiile de grosime se referă la grosimea minimă utilă introdusă în calcul cum și la grosimea maximă a intercalațiilor sterile care se admit în calcul;
- coeficientul maxim de descoperțare constituie, de asemenea, condiție industrială importantă, pentru stabilirea limitei de exploatare la zi, precum și repartizarea rezervelor de bilanț și în afară de bilanț, în anumite situații.

c) **Pentru substanțe minerale nemetalifere și roci utile:**

- condițiile industriale se adaptează de la caz la caz, în funcție de substanță, criteriile impuse de domeniul de utilizare și posibilitățile tehnice și economice ale exploatarei; rocile, de exemplu, se exploatează, în condiții economice, numai în carieră,
- Rezervele industriale* reprezintă cantitățile de substanțe minerale utile care pot fi realizate în procesul de exploatare (curent sînt denumite *minereu sau cărbune la gura minei*) și se stabilesc luînd ca bază rezervele geologice exploatabile, cuprinse într-un perimetru dat, ținînd seama de o serie de factori determinați de metoda de exploatare preconizată (pierderi, diluție).

Rezervele industriale se calculează în cadrul proiectelor de exploatare și servesc la dimensionarea producției și a investițiilor.

3. PARAMETRII DE CALCUL AL REZERVEI

Parametrii de calcul cantitativi și calitativi se stabilesc ca valori medii ale valorilor individuale obținute din lucrările de cercetare geologică, prin măsurare directă sau prin analize și determinări executate pe probe colectate din aceste lucrări.

Datele care caracterizează condițiile de zăcămint se obțin prin studii geologice (mineralogice și petrografice), hidrogeologice, tehnologice, care se bazează pe elementele obținute din probările specifice fiecărui studiu în parte.

3.1. PARAMETRII PENTRU CALCULUL CANTITATIV AL REZERVEI

Pentru calculul cantitativ al rezervelor este necesară determinarea parametrilor grosime, suprafață și greutate volumetrică.

Grosimea zăcămintului se măsoară în mod obligatoriu numai în secțiunile de probare care în totalitate sau fracționat cuprind mineralizația din acoperiș până în culcuș. La zăcămintele complicate, cu o mineralizație dispusă foarte neuniform, în anumite cazuri de excepție se pot măsura în plus și grosimile la intervale regulate, situate între secțiunile de probare.

În cazul zăcămintelor care prezintă mare uniformitate a parametrilor calitativi (calcare, andezite, roci de construcție etc.) și nu necesită o probare pe o rețea deasă, grosimea se poate măsura și numai pe bază de cartare a lucrărilor sau deschiderilor naturale dispuse transversal pe zăcămint.

De regulă, grosimea se măsoară perpendicular pe direcția generală a zăcămintului. Grosimea se poate determina în lucrări ca :

- grosime *aparentă*, într-o lucrare care străbate zăcămintul sub un unghi oarecare;
- grosime *reală*, măsurată normal la direcția și înclinarea zăcămintului;
- grosime *totală*, care cuprinde mineralizația utilă și intercalațiile sterile;
- grosime *utilă*, care cuprinde numai mineralizația utilă.

Grosimea reală se poate obține și din grosimea aparentă, prin corectarea acesteia, ținând seama de unghiul format de direcția de măsurare a grosimii și normala la planul zăcămintului.

În cazul zăcămintelor care nu prezintă limite nete, grosimea se stabilește strict numai în cadrul probelor acceptate în calculul conținutului mediu, la limita probelor cu un conținut minim limită (conținut marginal).

Pentru zăcămintele cu mai multe sorturi de minereu, grosimea se stabilește pentru fiecare sort de minereu în parte.

În toate cazurile, grosimea se recalculează după direcții normale la planul în care se măsoară suprafața care se introduce în calculul rezervelor.

Pentru zăcămintele exploatabile în carieră, în afara grosimii zăcămintului se determină și grosimea copertei, în vederea stabilirii volumului acesteia și a coeficientului de dezvelire.

În cazul în care calculul rezervelor se efectuează prin metoda secțiunilor, grosimea medie nu intervine, de regulă, ca parametru de calcul.

Suprafața zăcămintului, în totalitate sau pe unități de calcul, se determină în plan orizontal sau în plan vertical.

Suprafața se determină în planul orizontal pentru corpurile de substanțe minerale utile de formă tabulară (strate, filoane), lentiliformă, cu înclinare până la 45° precum și pentru corpurile de substanțe minerale utile izomerice dacă rezervele se calculează prin metoda secțiunilor orizontale.

Suprafața se determină în planul vertical pentru corpurile de substanță minerală utilă tabulare și lentiliforme cu înclinare peste 45° și pentru corpurile de substanță minerală utilă izometrice dacă rezervele se calculează prin metoda secțiunilor verticale.

Suprafața se determină de regulă prin proiecție și prin desfășurare.

În cazul zăcămintelor tabulare cu înclinare mare care prezintă schimbări de direcție, ce se mențin pe distanțe care depășesc lungimea unui panou de calcul, este indicat ca proiecția să se execute în planuri diferite, paralele cu direcția medie în porțiunile respective ale corpului de substanță minerală utilă.

La trasarea conturului suprafeței de calcul al rezervelor într-un anumit plan este necesar să se țină seama de felul și amplasarea lucrărilor de explorare ca și de metoda de calcul adoptată.

Suprafața poate fi delimitată prin lucrări de explorare sau de exploatare, pe bază de aflorimente sau prin limite convenționale.

Delimitarea suprafețelor prin punctele extreme de cunoaștere în zăcămint se face admițând o variație liniară între acestea.

Între punctele care au interceptat zăcămintul și cele care nu l-au interceptat, limita suprafețelor luate în calculul rezervelor se stabilește la jumătatea distanței între aceste puncte sau în funcție de grosimea corpului de substanță minerală utilă și de unghiul mediu de efilare.

În afara punctelor extreme de cunoaștere în zăcămint, limita convențională se stabilește după cum urmează :

— prin procedee geologice, când se ține seama de aria de răspândire a rocilor purtătoare de mineralizație, de prezența elementelor chimice, mineralogice etc. ;

— prin procedee morfologice, în cazul zăcămintelor a căror grosime și conținut scad treptat spre periferie (folosindu-se metoda secțiunilor și izoliniilor).

Limita convențională a zăcămintelor se trasează la limita grosimii minime sau conținutului minim limită, dacă sînt stabilite prin studii de condiții industriale, sau efectuându-se mai multe variante de calcul pe baza unor criterii stabilite prin analogie cu alte zăcămintele similare.

La stabilirea scării planurilor se va avea în vedere necesitatea de a nu avea dimensiuni ale unităților de calcul mai mici de 5 cm.

Ariile suprafețelor de calcul se determină prin metode geometrice sau prin măsurare cu planimetrul sau cu abaca. În cazul măsurării suprafeței cu planimetrul sau cu abaca se execută trei măsurători. Diferența între ele nu trebuie să depășească 5%, în calcul luându-se valoarea medie a acestora.

Masa volumetrică se determină prin studii efectuate avînd la bază rezultatele probării tehnice constînd din :

— probe monolit (șantioane) luate din locurile de colectare a probelor necesare stabilirii calității zăcămintului; desimea punctelor de probare se stabilește în funcție de condițiile de zăcămint (din 10 în 10 probe până la 100 pentru zăcămintele uniforme); pe aceste probe monolit se face determinarea masei volumetrice în laborator;

— probe globale, prelevate în zone cu caracteristici calitative medii, raportîndu-se masa materialului obținut la volumul excavațiilor; excavațiile pot să difere de la

1 m³ până la sute de m³ atunci când probarea se face colectând întregul material rezultat dintr-o galerie care traversează zăcămintul.

Pe baza cercetărilor amănunțite efectuate în lucrările care străbat zăcămintul se stabilește și un coeficient atribuit fisurațiilor și golurilor care nu pot fi determinate prin probele monolit și care în mod evident diminuează masa volumetrică.

3.2. STABILIREA CARACTERISTICILOR CALITATIVE ALE REZERVEI

Pentru stabilirea caracteristicilor calitative se prelevează probe *chimice* sau *tehnice* adecvate tipului mineralizației și scopului propus privind valorificarea.

Probarea chimică servește la stabilirea conținutului în componenți utili și dăunători, cuprinzând 4 operații principale: recoltarea, reducerea probelor, analiza chimică sau fizică, prelucrarea rezultatelor.

Recoltarea implică alegerea metodei de probare, stabilirea intervalului optim între probe, determinarea greutății optime a probei inițiale.

Pot fi aplicate mai multe metode de probare, în funcție de caracteristicile zăcămintului (formă, dimensiuni, distribuția în spațiu a mineralizației și a componentilor utili și dăunători), de metodica și etapele de cercetare (prospecțiune, explorare, exploatare), de starea minereului (dur, compact, afinat) și de scopul urmărit.

Cele mai obișnuite metode de colectare a probelor sînt: prin *brazde*, prin *puncte în rețea*, prin *răzuire*, prin *găuri de mină*, prin *secționarea carotelor*, *globală* etc. (v. Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor). Metoda de colectare a probelor influențează direct rezultatele obținute.

Distanța între punctele de colectare a probelor permite aprecierea gradului de cunoaștere ce poate fi obținut, determinînd costul lucrărilor de probare și caracterul reprezentativ al probării.

Distanța optimă între probe se stabilește experimental sau prin metode statistice.

Probele chimice se colectează din lucrările miniere sau din carotele recuperate din foraje.

În *lucrările miniere* metoda de probare cea mai utilizată este metoda brazdelor. Lățimea brazdei este de circa 10 cm, iar adîncimea de circa 5 cm. Lungimea diferă în funcție de caracteristicile zăcămintului, fiind de regulă de 1 m. Poziția și modul de execuție a brazdelor de probare depinde de grosimea zăcămintului, de înclinarea acestuia și de lucrările din care se colectează probele. Direcția brazdelor trebuie să fie cît mai apropiată de direcția după care variația componentilor utili și dăunători este maximă.

Pentru corpurile de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime foarte mică sau mică, colectarea probelor brazdă se execută din galerii direcționale și din suitori, pe înclinare. Poziția brazdelor se urmărește să fie cît mai apropiată de normala la planul caracteristic de poziție al corpului de substanță minerală utilă.

Mineralizațiile (de regulă filoanele auro-argentifere) cu grosimi sub 0,10 m se probează prin răzuire sau prin brazde direcționale, indiferent de înclinare.

În general, echidistanța între probele colectate din zăcămintele cu grosime foarte mică și mică este cuprinsă între 3 și 10 m, în funcție de variația conținuturilor în componenți utili.

În cazul zăcămintelor cu formă tabulară sau de corpuri lenticulare cu grosime medie sau mare și înclinare mare, precum și în cazul zăcămintelor cu formă izometrică, probele

se colectează în nișe și transversale de cercetare pe toată grosimea, săpate din galerii direcționale și uneori din suitori. Probele se colectează din pereții laterali ai lucrărilor cu poziția orizontală și se iau în brazde continue care se împart pe secțiuni.

În cazul zăcămintelor cu grosime medie sau mare și înclinare mică se colectează probe verticale continue (care se împart pe secțiuni) din suitorii verticale.

Pentru zăcămintele cu formă tabulară sau lenticulară cu grosime medie sau mare și înclinare medie, probarea se execută fie în lucrări miniere orizontale, fie în lucrări miniere verticale care traversează zăcămintul în întregime de la culcuș la acoperiș.

În cazul zăcămintelor cu formă de masiv, probele se colectează din galerii și suitori.

Colectarea probelor din carieră se face prin brazde continue împărțite în secțiuni, în funcție de înălțimea treptei de exploatare sau de grosimea zăcămintului. Distanțele între punctele de colectare a probelor pe toată înălțimea treptei variază între 25 și 50 m.

În zăcămintele cu grosime mare la care nu se evidențiază o lege a distribuției în spațiu a componentilor utili și pentru care explorarea se execută printr-o rețea pătratică de lucrări miniere, se probează sistematic toate lucrările executate în zăcămint.

Locul de colectare a probelor se nivelează întotdeauna înainte de probare.

Pentru *foraje* se cere un recuperaj minim în util de 80%.

Colectarea probelor se face de regulă din carotă, iar informativ din detritus. Pentru colectarea probelor din carotă, aceasta se secționează axial (manual sau mecanic), o parte constituind proba recoltată.

Lungimile secțiunilor de probare variază, în general, între 1 și 5 m, în raport de gradul de variație al repartiției componentilor utili, în funcție de grosimea zăcămintului, de lungimea carotelor și de gradul de recuperare a carotei. Din util, probele se colectează continuu.

Carotajul mecanic se completează cu datele rezultate din carotajul geofizic (v. Secțiunea XIII. Carotajul geofizic).

Reducerea probelor chimice trebuie să asigure obținerea conținutului real din locul de colectare. Acest lucru se realizează prin sfărîmarea, măcinare, omogenizare și reducere.

Schema de prelucrare a probelor se alege în funcție de variația distribuției componentilor utili.

La reducerea probelor se utilizează formula: $Q = kd^3$, în care Q este greutatea probei în kg, iar d — diametrul maxim al particulelor din probă în mm. În general, k variază între 0,1 pentru zăcămintele mai uniforme, 0,4 pentru zăcămintele relativ uniforme, până la 2,0 pentru zăcămintele extrem de neuniforme.

La fiecare reducere a probei este necesar să se respecte raportul între Q și d , stabilit de relația de mai sus.

Materialul rămas după reducerea probei se împarte astfel încît să se poată executa toate analizele (de bază, de control intern și extern) și să se păstreze și o parte ca martor în magazia de probe.

În general, pentru determinarea conținuturilor în componenți utili și dăunători secundari, este indicată unificarea probelor, cu scopul de a se reduce numărul de analize și a mări operativitatea probării.

Unificarea probelor se face după reducerea acestora, luînd din fiecare probă cantități proporționale cu greutatea lor. În general, lungimea pe care s-au colectat mai multe probe ce se supun unei singure analize nu trebuie să depășească 10 m. Întotdeauna gruparea probelor se face pe sorturi.

Analizarea probelor de bază, control extern și intern al analizelor chimice în scopul verificării exactității analizelor de bază. Materialul final rezultat de la reducerea

probelor recoltate din lucrările de explorare se expediază la un laborator autorizat, care are omologate metodele de determinare pentru componenții indicați.

Pentru verificarea exactității analizelor de bază se execută controlul intern și controlul extern.

Controlul intern se execută la laboratorul de bază, în proporție de 5–10% sau pentru fiecare a 10-a sau a 20-a probă (minimum 10–15 probe pe trimestru) și are ca scop scoaterea în evidență a erorilor incidentale influențate de modul de lucru al laboratorului.

Dacă analizele de control intern pun în evidență erori incidentale ce depășesc limitele admise, stabilite pentru fiecare substanță separat, datele analizelor de bază din perioada la care se referă controlul intern nu se introduc în calculul rezervelor.

Controlul extern se execută într-un laborator autorizat și are ca scop evidențierea unor erori sistematice în lucrările laboratorului chimic de bază în cursul unei perioade. Prin control extern se verifică și datele de analiză sau conținuturile exagerat de mari.

Controlul extern se execută în proporție de minimum 5% sau pentru fiecare a 20-a probă, iar pentru a stabili un coeficient de corecție sunt necesare minimum 10% din numărul analizelor de bază. Numărul probelor pentru care se execută controlul extern nu trebuie să fie mai mic de 30.

Pe măsura obținerii datelor de la laboratorul de bază, conținuturile se calculează pe lucrări de explorare, pe suprafețe conturate în corpul de substanță minerală utilă explorat, pe unități de calcul (panouri, blocuri etc.).

Conținuturile medii calculate pe lucrări, pe alinamente de explorare sau pe suprafețe conturate, constituie valori intermediare în calculul conținuturilor medii pe panouri.

Cele mai uzuale procedee de calcul al conținuturilor medii sunt *procedeul mediei aritmetice* și *procedeul mediei ponderate*.

a) *Procedeul mediei aritmetice*, folosește pentru calcularea conținutului mediu relația:

$$c_m = \frac{\sum c_i}{n}$$

în care: c_m este conținutul mediu; c_i — conținutul pe probă individuală; n — numărul probelor.

b) *Procedeul mediei ponderate* implică un volum mare de calcule și din acest motiv nu se aplică decât în anumite cazuri și anume:

— în cazul probelor colectate pe secțiuni cu lungimi variabile (l_i), calculul conținuturilor medii pe lucrări (c_m) se face prin *medie ponderată în raport cu lungimile secțiunilor probelor*, cu formula:

$$c_m = \frac{\sum c_i \cdot l_i}{\sum l_i}$$

în care: c_i este conținutul mediu pe secțiune, care se calculează cu aceeași formulă, iar l_i și c_i reprezintă valorile pe probe; l_i — lungimile probelor respective;

— pentru un număr limitat de probe (10–15), dispuse neuniform pe panoul de calcul sau a căror date de analiză prezintă variații mari, prin *ponderare în raport cu lungimea L , a zonei de influență a secțiunilor*, cu formula:

$$c_m = \frac{\sum c_i L_i}{\sum L_i}$$

în care: c_m este conținutul mediu; c_i — conținutul pe probe individuale; L_i — lungimea de influență;

— calculul prin *ponderare în raport cu lungimea secțiunii de probare* (grosimea g_i a zăcămintului măsurată în transversale) și *cu zona de influență L_i* se face cu formula:

$$c_m = \frac{\sum c_i g_i L_i}{\sum g_i L_i}$$

în care: c_m este conținutul mediu; c_i — conținutul pe probe individuale; g_i — grosimea zăcămintului măsurată în locul de probare; L_i — lungimea de influență.

— în cazul explorării prin foraje, calculul se face prin *ponderare în raport cu volumul teoretic al carotei și volumul teoretic al detritusului produs pe un metru liniar de gaură de sondă*. Volumul teoretic al carotei și al detritusului pe un metru liniar de gaură de sondă se calculează prin formule sau se apreciază în procente față de volumul găurii de sondă.

Formulele utilizate în acest scop sînt următoarele:

$$V_c = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{100}; \quad V_d = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \frac{r}{100};$$

V_c și V_d reprezentînd volumele teoretice de carotă respectiv detritus pe un metru liniar de gaură de sondă; D și d — diametrul găurii de sondă respectiv al carotei; r — ecuperajul în util, în %.

În cazul forajului cu alicie este necesară trecerea detritusului printr-un separator magnetic, în scopul curățirii lui de sfărîmături de alicie.

Exactitatea analizelor chimice ale probelor se verifică prin *analize de control intern și extern*, care se *prelucrează statistic* în mod periodic, după cum urmează:

Pe baza rezultatelor analizelor de control intern se calculează *eroarea medie întâmplătoare (incidentală) relativă* cu ajutorul formulei:

$$e_m = \frac{\sum_{k=1}^n |c_{ik} - c_{bk}|}{2n\bar{c}_b} \cdot 100 \quad [\%]$$

în care: e_m este eroarea medie întâmplătoare; c_i — conținutul dat de analiza de control intern; c_b — conținutul dat de analiza de bază; n — numărul analizelor de control.

Pentru stabilirea existenței și mărimii erorilor sistematice puse în evidență de controlul extern, se efectuează următoarele calcule:

Conținutul mediu:

— pentru analiza de bază

$$\bar{c}_b = \frac{\sum_{k=1}^n c_{bk}}{n}$$

— pentru analiza de control extern

$$\bar{c}_e = \frac{\sum_{k=1}^n c_{ek}}{n}$$

unde: c_b este conținutul probei de bază; c_e — conținutul probei de control extern; n — numărul probelor controlate.

Coeficientul de corecție datorită erorii sistematice (f)

$$f = \frac{\bar{c}_e}{\bar{c}_b}$$

Dacă $0,95 < f < 1,05$ se admite că practic analizele de bază nu au fost afectate de o eroare sistematică.

Dacă f este în afara intervalului cuprins între 0,95 și 1,05, prelucrarea statistică este continuată cu următoarele calcule:

Stabilirea abaterii medii pătratice a conținuturilor medii (m_b = abaterea pentru analizele de bază; m_e = abaterea pentru analizele de control extern):

$$m_b = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (c_{bk})^2 - n\bar{c}_b^2}{n(n-1)}}$$

$$m_e = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (c_{ek})^2 - n\bar{c}_e^2}{n(n-1)}}$$

Stabilirea coeficientului de corelație dintre analizele de bază și cele de control extern (r):

$$r = \frac{\sum_{k=1}^n c_{bk} \cdot c_{ek} - n\bar{c}_b \cdot \bar{c}_e}{\sqrt{\left[\sum_{k=1}^n (c_{bk})^2 - n\bar{c}_b^2 \right] \cdot \left[\sum_{k=1}^n (c_{ek})^2 - n\bar{c}_e^2 \right]}}$$

Stabilirea coeficientului de probabilitate al existenței erorii sistematice (t):

$$t = \frac{|\bar{c}_b - \bar{c}_e|}{\sqrt{m_b^2 + m_e^2 - 2rm_b m_e}}$$

Dacă $t \leq 2$ nu există eroare sistematică; dacă $t > 2$ există eroare sistematică.

Înlocuirea probelor excepționale. În cazul zăcămintelor cu o repartiție neuniformă a componentilor utili, analizele probelor chimice pot pune în evidență unele probe cu conținuturi excepționale.

Se consideră că o probă este excepțională într-o unitate de calcul dacă împărțind cantitatea de rezerve Q din unitatea de calcul la numărul probelor n colectate, nu se poate accepta pe baza cunoașterii geologice obținute, că în acea unitate de calcul există Q/n rezerve cu conținuturile probei excepționale.

În cazul probelor excepționale se refacă analiza. Dacă rezultatul reanalizării confirmă conținutul inițial, se reprobează locul de unde a fost colectată proba respectivă; dacă analiza indică un conținut normal, acesta se introduce în calculul conținuturilor.

Dacă analiza confirmă din nou conținutul inițial, se procedează astfel:

— în cazul unei unități de calcul cu mai mult de 50 de probe, se ia în calculul conținuturilor conținutul probei excepționale;

— în cazul unei unități de calcul cu mai puțin de 50 de probe conținutul probei excepționale se înlocuiește cu media conținuturilor probelor care o încadrează (5—10 probe de o parte și de alta) sau prin conținutul mediu calculat cu proba excepțională (pe lucrare sau pe panou) sau prin alte procedee, dându-se justificările necesare.

3.3. STABILIREA CONDIȚIILOR DE ZĂCĂMÎNT

Pentru stabilirea condițiilor de zăcămînt se efectuează studii, după cum urmează:

a) Studii geologice complexe, bazate pe cartarea tuturor lucrărilor executate precum și a deschiderilor naturale, coroborate cu măsurători geofizice, geochimice etc.

b) Studii mineralogice și petrografice bazate pe datele obținute din probarea mineralogică.

c) Studii cu privire la gradul de tectonizare, bazate pe cartări geologice și analize cu privire la microtectonica zăcămîntului.

d) Studii hidrogeologice bazate pe măsurători ale debitelor de apă în diferite condiții de regim, anotimp, adîncime etc.

e) Studii tehnice care se bazează pe datele obținute prin probarea tehnică. Aceasta are ca scop determinarea greutateii volumetrice, a umidității, compactității, porozității, tăriei (durității), fisurării, stabilității rocilor în lucrările de exploatare, rezistenței de rupere la șoc, rezistenței la sfărîmarea și coeficientului de afinare.

f) Studii tehnologice care se execută pentru obținerea unor parametri industriali privind tehnologia de exploatare și tehnologia de preparare-prelucrare.

Studiile tehnologice au la bază datele obținute din probarea tehnologică, care diferă în funcție de natura substanței, etapa de cercetare, scopul final propus în tema de cercetare.

Probarea tehnologică de exploatare se execută în scopul determinării posibilităților și condițiilor de exploatare a zăcămîntului precum și stabilirii unor parametri industriali (diluție, pierderi, consumuri specifice, productivitate) necesari întocmirii studiilor de condiții industriale și, dacă este cazul, a proiectului de punere în exploatare.

De regulă, probarea tehnologică de exploatare (uzual denumită abataje experimentale) se execută în etapa de explorare de detaliu sau după încheierea lucrărilor de explorare detaliată.

Probarea tehnologică pentru preparare are scopul de a furniza date privind fluxul tehnologic cel mai indicat pentru obținerea unui produs valorificabil și stabilirea într-o etapă avansată de cercetare a unor parametri necesari pentru elaborarea studiilor de condiții industriale sau pentru întocmirea proiectelor de punere în exploatare.

Probarea tehnologică de preparare se efectuează în toate etapele de cercetare geologică (prospecțiune, explorare și exploatare; tabelul XV. 4).

Problele tehnologice pe fazele de cercetare

Faza de încercare	Cantitate	Instalație	Se obțin date privind :	Etapa de cercetare în care se execută
Laborator	10 — 500 kg	Laborator	Caracteristici calitative medii ale probei. Caracterizarea materialului (asociație de minerale și concrescență). Metode de preparare. Flux tehnologic informativ. Parametri informativi privind extracția în componenți utili.	Prospecțiune și explorare preliminară (rezerve categ. C ₂ și în unele cazuri categ. C ₁)
Pilot	10 — 100 t	Instalație pilot 2 — 12 t/zi	Caracteristici calitative medii ale probei. Caracterizarea materialului (asociație de minerale și concrescență). Flux tehnologic de preparare. Grad de sfărîmare. Sorturi de concentrate. Extracție în greutate. Extracție în componenți utili. Consum informativ reactivi.	Explorare preliminară și de detaliu (rezerve categ. C ₁ și în unele cazuri categ. B)
Semiindustrial	500 — 1500 t	Instalație semiindustrială 20 — 40 t/zi	Caracteristici calitative medii ale probei. Flux tehnologic de preparare optim. Grad de sfărîmare. Sorturi de concentrate. Calitatea concentratelor. Extracție în greutate. Extracție în componenți utili. Consumuri specifice de energie, materiale și reactivi.	Explorare de detaliu (rezerve categ. C ₁ , categ. B și în unele cazuri categ. A)
Industrial	Peste 1500 t	Instalație în funcțiune de la 125 t/zi	Verificarea și îmbunătățirea fluxului tehnologic de preparare în vederea ameliorării parametrilor de extracție.	Explorare de detaliu și exploatare (rezerve de categ. B și categ. A)

4. METODE DE CALCUL AL REZERVEI

În calcularea rezervelor pot fi aplicate metode de calcul clasice sau geometrice, utilizând parametri determinați prin metode obișnuite sau utilizând parametri obținuți prin calcule statistico-matematice și geostatistice.

În cazul aplicării metodelor de calcul clasice obișnuite, stabilirea valorilor medii ale parametrilor de calcul se face astfel :

Grosimea medie se stabilește prin medie aritmetică simplă dacă repartitia punctelor de măsurare în zăcămint este destul de uniformă sau dacă nu există variații continue și uniforme de grosime ; în celelalte cazuri grosimea medie se stabilește prin medie ponderată în raport cu lungimea de influență a locurilor în care s-au făcut măsurători. Lungimea de influență a locului de măsurare a grosimii este egală cu suma jumătăților dintre acestea și locurile vecine în care s-au executat măsurătorile.

Conținuturile medii se calculează, în cele mai multe cazuri, prin medie aritmetică simplă sau ponderată. Calculul conținuturilor se face prin *medie aritmetică ponderată* în următoarele cazuri :

— în cazul probelor colectate pe secțiuni cu lungimi variate și se ponderează în raport cu lungimile secțiunilor probelor ;

— pentru un număr limitat de probe (10 — 15), dispuse într-un mod neuniform în cadrul unității de calcul sau a căror date de analiză prezintă variații mari, conținuturile se calculează prin ponderare în raport cu zona de influență a probelor, apoi pe suprafețe de calcul prin ponderare în raport cu lungimea lucrărilor (sau cu grosimea zăcămintului) și cu distanța între lucrări și pe unități de calcul prin ponderare în raport cu mărimea suprafețelor ;

— în cazul grosimilor variabile, sau dacă există o relație între grosime și conținut se ponderează în raport cu grosimea.

În celelalte cazuri, conținuturile se calculează, în general, prin medie aritmetică simplă, cu excepția calculului conținuturilor pe categorii de rezerve, care se execută prin ponderare în raport cu rezervele panourilor.

Alegerea metodei de calcul al rezervelor se face în funcție de următorii factori :

- metoda de explorare aplicată ;
- forma și înclinarea corpurilor de substanță minerală utilă ;
- dimensiunile corpurilor din care este alcătuit zăcămintul ;
- situarea în spațiu a corpurilor de substanță minerală utilă și raporturile dintre acestea ;
- metodele de exploatare aplicate sau cele preconizate în cazul zăcămintelor noi (eventual).

Cele mai utilizate metode clasice pentru calculul rezervelor sînt următoarele :

— *Metoda blocurilor geologice*, avînd ca unitate de calcul blocul delimitat pe criterii geologice, ținînd seama și de sistemul de explorare ; este folosită în special în faza de explorare preliminară (în special la rezervele de categoria C₂), pentru zăcămintele cercetate cu lucrări miniere și foraje executate separat sau împreună.

— *Metoda panourilor (blocurilor)* de exploatare, avînd ca unitate de calcul panoul sau blocul delimitat de lucrări amplasate pe o rețea stabilită în funcție de tipul de zăcămint și metoda de exploatare preconizată ; metoda este folosită în faza de explorare preliminară și de detaliu (rezerve de categoria C₁, B și A), pentru zăcămintele cercetate în mare măsură prin lucrări miniere pe direcție și înclinare, care delimitează panouri de exploatare.

— *Metoda secțiunilor*, în special varianta cu secțiuni orizontale, care este folosită în cazul zăcămintelor cu grosime medie și mare, în cazul zăcămintelor masive (stock-uri) co-loane, sau lentile cu grosime mare, explorate la diverse nivele (orizonturi) prin lucrări miniere.

Varianta cu *secțiuni verticale* este folosită în cazul explorării prin foraje sau puțuri dispuse pe aliniamente combinate, eventual cu lucrări miniere orizontale.

— *Metoda poligoanelor*, numită și *metoda celor mai apropiate suprafețe*, care se folosește în cazuri mai rare, în situația când lucrările de cercetare nu sînt dispuse sistematic.

— *Metoda triunghiurilor*.

4.1. METODA BLOCURILOR GEOLOGICE

Pentru calculul rezervelor, suprafața corpului de substanță minerală (în proiecție orizontală sau verticală) se împarte într-o serie de figuri reprezentînd bazele unor poliedre echivalente cu părțile corespunzătoare din zăcămint (fig. XIV.1.).

Calculul rezervelor se face după cum urmează:

— Pentru un zăcămint unde nu s-a stabilit existența unor relații între conținut, grosime și masă volumetrică, valorile medii ale acestor parametri se calculează ca medie aritmetică simplă.

Cazul particular, cînd întreg zăcămintul reprezintă un singur bloc (fig. XIV.1.).

$$Q = V \cdot \bar{\gamma}_m$$

$$V = S \cdot \bar{g}_m$$

$$\bar{\gamma}_m = \frac{\sum \gamma_i}{n} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n}{n}$$

$$\bar{g}_m = \frac{\sum g_i}{n} = \frac{g_1 + g_2 + \dots + g_n}{n}$$

$$\bar{c}_m = \frac{\sum c_i}{n} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_n}{n}$$

unde: Q este cantitatea de rezervă, t; V — volumul rezervelor, m³; S — suprafața de calcul, m²; $\bar{\gamma}_m$ — masa volumetrică medie, t/m³; γ_i — masa volumetrică a fiecărei măsurători ($i = 1, \dots, n$), t/m³; \bar{g}_m — grosimea medie a blocului, m; g_i — grosimile măsurate în fiecare secțiune de probare, m; \bar{c}_m — conținutul mediu în component util, % sau g/t; c_i — conținutul în component util al probelor pe secțiuni de probare, % sau g/t; n — numărul punctelor de observație.

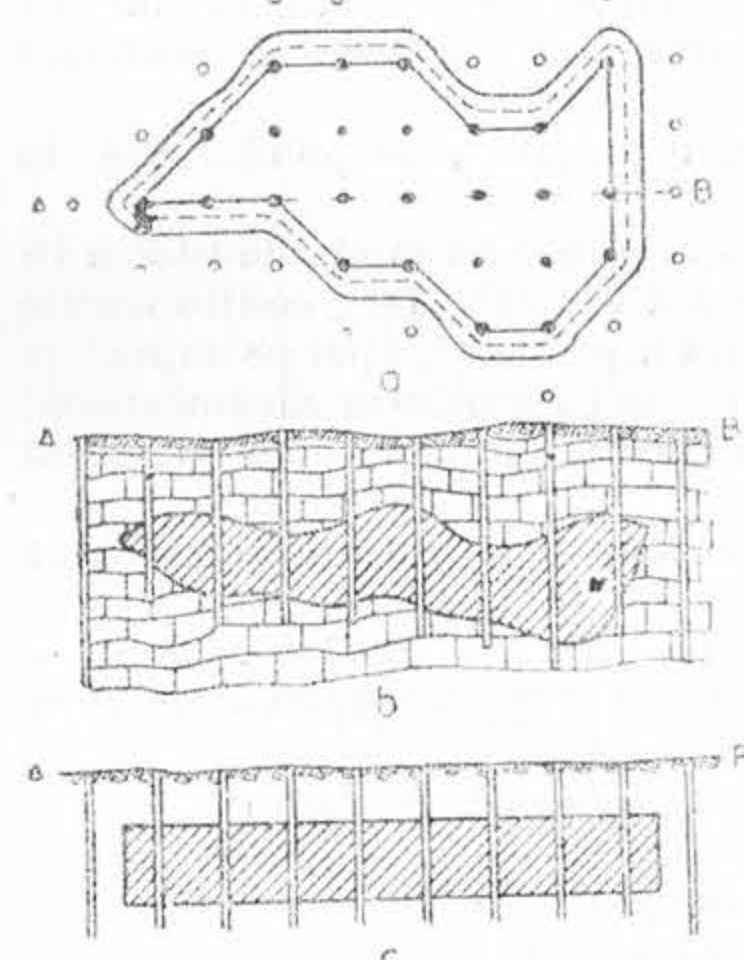


Fig. XIV.1. Schema transformării formei corpului de substanță minerală utilă în figuri echivalente alăturate (blocuri) de diferite mărimi, în vederea calculului rezervelor prin metoda blocurilor geologice:

a — planul corpului de substanță minerală utilă conturat pe baza lucrărilor de explorare prin cele trei linii de contur (interior mediu și exterior); b — secțiune verticală, în corpul de substanță minerală utilă după direcția AB; c — schița corpului de substanță minerală utilă în secțiune verticală după direcția AB, după transformare (asimilare) într-un bloc cu înălțimea (grosimea) constantă.

— · — · — · — contur interior; — — — — contur mediu; ~ — contur exterior; ● — lucrări (foraje sau puțuri) care au intersectat zăcămintul; ○ — lucrări care nu au intersectat zăcămintul.

Determinarea masei volumetrice, a conținutului mediu pe un bloc sau pe întregul corp de substanță minerală se poate face folosind tabelul sinoptic XIV.5

Tabelul XIV.5

Stabilirea valorilor medii ale parametrilor de calcul al rezervelor

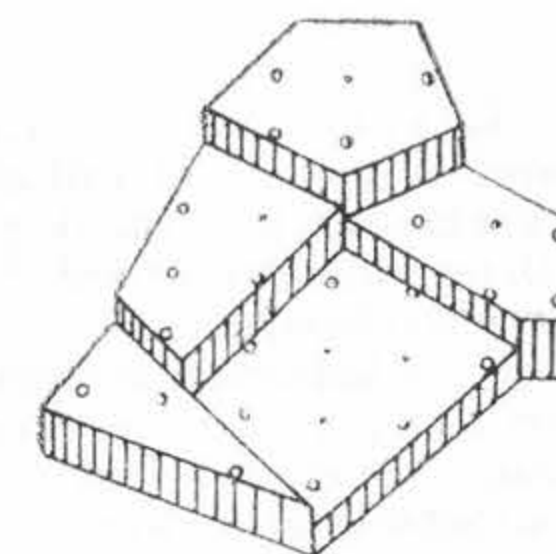
Nr. crt.	Lucrarea de explorare	Grosime, g [m]	Masă volumetrică, γ [t/m ³]	Conținut, c [%]
1	Foraj 1024	1,5	2,8	0,6
2	Foraj 1025	1,0	2,9	0,7
3	Foraj 1026	2,3	3,1	0,8
4	Foraj 1027	1,4	3,0	0,7
5	Puțul 1	0,8	2,7	0,
6	Puțul 2	0,7	2,7	0,4
	⋮	⋮	⋮	⋮
20	Foraj 2030	1,0	2,8	0,6
$\Sigma = 20$	Total	$\Sigma = 20,0$	$\Sigma = 60,0$	$\Sigma = 14,0$
	Mediu	$g_m = 1,0$	$\gamma_m = 3,0$	$c_m = 0,7$

Cazul mai multor blocuri încadrate în aceeași categorie de rezerve (fig. XIV.2);

$$Q = \Sigma Q_i = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$\bar{c}_m = \frac{\Sigma Q_i c_i}{\Sigma Q_i} = \frac{Q_1 c_1 + Q_2 c_2 + \dots + Q_n c_n}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}$$

Fig. XIV.2. Transformarea corpului de substanță minerală utilă în figuri echivalente alăturate (blocuri) de diferite mărimi, în vederea calculului rezervelor prin metoda blocurilor geologice.



unde: Q este cantitatea totală de rezerve, t; Q_i — cantitatea de rezervă a fiecărui bloc ($i = 1, \dots, n$); \bar{c}_m — conținutul mediu în component util sau dăunător, % sau g/t; c_i — conținutul mediu în component util sau dăunător al fiecărui bloc, % sau g/t; n — numărul blocurilor.

Determinarea conținutului mediu pe întregul zăcămint se poate face folosind tabelul XIV.6.

Folosind același tabel se poate determina și grosimea medie a zăcămintului și masa volumetrică medie dacă se solicită acest lucru de către beneficiar.

Tabelul XIV.6

Calculul conținutului mediu pe întregul zăcămint

Nr. crt.	Denumirea blocului	Cantitate de rezerve, Q_i [t]	Conținut mediu, c_i [%]	Putere (cantitate de metal) $Q_i \cdot c_i$ [kg sau t]
1	Bloc 1	5 000	0,8	40
2	Bloc 2	7 000	0,7	49
3	Bloc 3	10 000	1,0	100
4	Bloc 4	8 000	0,9	72
5	Bloc 5	4 000	1,2	48
...
10	Bloc 10	15 000	1,0	150
$\Sigma=10$	Total	100 000		900
	Media		0,90	

— Pentru zăcămintele unde s-a stabilit existența unei relații directe sau inverse între conținutul în componenți utili și grosimea corpului de substanță minerală utilă, calculul conținutului în componenți utili al acestuia se determină nu ca medie aritmetică, ci ca medie ponderată cu grosimea măsurată în locul colectării probelor din zăcămint, folosindu-se formula:

$$\bar{c}_m = \frac{\sum c_i g_i}{\sum g_i}$$

în care: \bar{c}_m este conținutul mediu al componentului util sau dăunător, % sau g/t; c_i — conținutul în component util al fiecărei probe, % sau g/t; g_i — grosimile măsurate în fiecare probă (sau secțiune de probare), m.

Determinarea conținutului mediu al blocului prin ponderare după grosime se poate face folosind tabelul XIV. 7.

Metoda blocurilor geologice poate fi folosită — cu mici excepții — în toate cazurile, avînd grijă ca împărțirea pe blocuri să se facă pe baza unor criterii obiective, astfel încît însumarea blocurilor să nu influențeze asupra parametrilor care caracterizează calitatea medie a zăcămintului.

Metoda blocurilor geologice dă rezultate bune în următoarele cazuri:

- cînd există un număr mare de date referitoare la zăcămint;
- în cazul unei repartii uniforme a lucrărilor de explorare în limitele unui bloc geologic;

— cînd conținuturile în componenți utili și grosimile corpului de substanță minerală utilă variază puțin.

Avantajul metodei constă în simplitatea efectuării materialelor grafice și a calculelor.

Dezavantajele metodei constau în mica precizie a calculelor în cazul zăcămintelor complicate și în cazul repartizării neuniforme a lucrărilor de cercetare și de probare.

Tabelul XIV.7

Calculul conținutului mediu prin ponderare după grosime

Nr. crt.	Lucrarea de explorare	Grosime, g_i [m]	Conținut, c_i [%]	Produs $g_i \cdot c_i$
1	Puț 1	1,3	0,7	0,91
2	Puț 2	1,5	0,6	0,90
3	Sonda 1005	0,4	0,8	0,32
4	Sonda 1006	0,8	1,0	0,80
...
10	Puț 16	1,6	1,2	1,92
$n=2$	Total	12,0		12,0
	Medie		1,0	

4.2. METODA PANOURILOR SAU BLOCURILOR DE EXPLOATARE

Pentru calculul rezervelor, zăcămintul se împarte în panouri sau blocuri mărginite de lucrări miniere (galerii, suitori) sau pe baza unor delimitări care corespund viitoarelor limite ale panourilor de exploatare sau blocurilor (cazul extrapolării).

Acastă metodă este foarte mult folosită la calculul rezervelor zăcămintelor de substanțe minerale utile de formă filoniană sau de strate cu grosime mică la care exploatarea se face prin lucrări miniere (galerii direcționale și suitori). Corpul de substanță minerală utilă este împărțit prin lucrările miniere respective în porțiuni conturate pe 2—4 laturi (fig. XIV.3.).

Panourile sau blocurile de exploatare sînt, deci, niște paralelipede ale căror înălțimi sînt egale cu grosimea medie a corpului de substanță minerală cuprins în limitele stabilite, iar baza este suprafața blocului.

Rezervele de substanță minerală utilă se calculează mai întîi pe fiecare panou separat, apoi prin însumarea rezervelor tuturor panourilor se determină rezerva totală.

Construcția grafică pentru calculul rezervelor constă în reprezentarea proiecției lucrărilor miniere de explorare sau de exploatare care delimitează corpul de substanță minerală utilă pe panouri, luîndu-se ca bază datele topografice. Atunci cînd corpul de substanță minerală utilă are un unghi de înclinare mai mare de 45°, proiecția se construiește de obicei în planul vertical sau în planul zăcămintului.

Când unghiul de înclinare a corpului este mai mic de 45°, proiecția se construiește în plan orizontal.

Pe planurile cu proiecțiile lucrărilor care delimitează panourile se marchează numărul probelor, punctele de colectare a acestora din corpul de substanță minerală utilă.

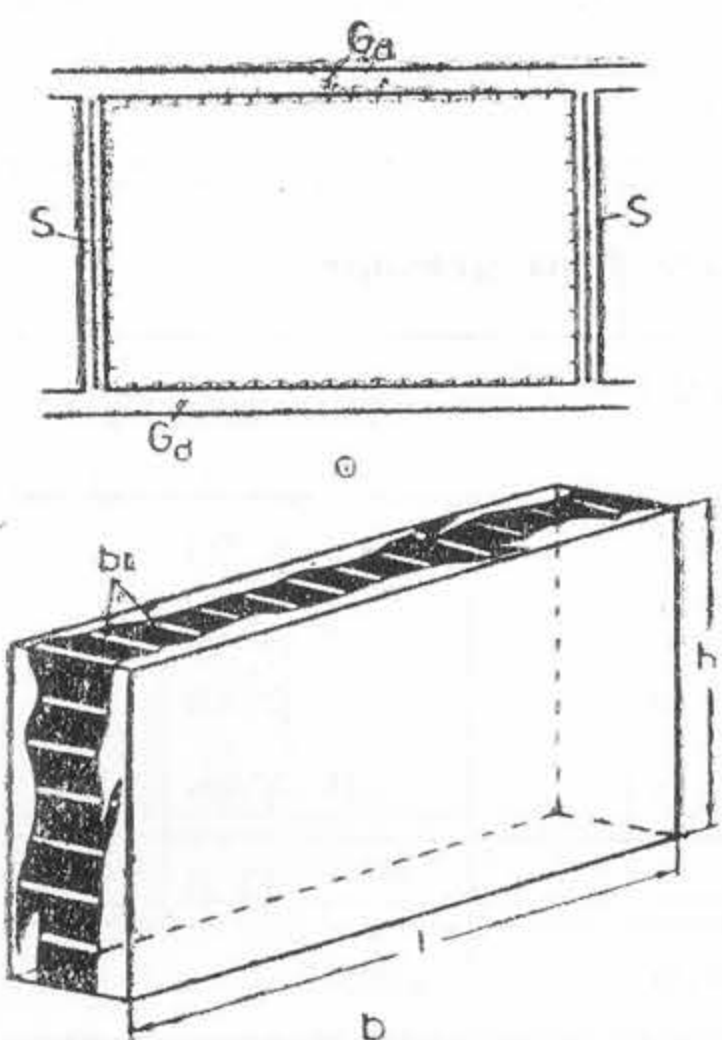


Fig. XIV.3. Schema unui bloc conturat pe patru laturi cu lucrări miniere:

a — proiecția blocului în planul filonului; s — suitoare; Gd — galerie direcțională; b — schema imaginii blocului; l — lungimea blocului; h — înălțimea blocului. br — brazde de probare.

$$\bar{\gamma}_m = \frac{\sum \gamma_i}{n}; \quad \bar{g}_m = \frac{\sum g_i}{n}; \quad m = \frac{\sum c_i}{n};$$

unde: Q este cantitatea de rezerve, t; V — volumul rezervelor, m³; S — suprafața panoului în m², proiectată sau desfășurată; h — înălțimea panoului în m, măsurată pe verticală între două nivele (S proiectată) sau măsurată pe suitori (S desfășurată); l — lungimea panoului în m, măsurat între suitori pe plan (S proiectată) sau pe direcția galeriei (S desfășurată); $\bar{\gamma}_m$ — masa volumetrică medie a panoului, t/m³; γ_i — masa volumetrică (t/m³) determinată pe fiecare probă sau la a zecea sau douăzecea probă; \bar{g}_m — grosimea medie a panoului, m; g_i — grosimea corpului de substanță minerală utilă după rezultatele probării; \bar{c}_m — conținutul mediu al panoului în % sau g/t; c_i — conținutul fiecărei probe, % sau g/t; n — numărul de măsurări a grosimii, respectiv numărul probelor.

Important este ca secțiunile de probare (din acoperiș la culcuș) de unde în mod obligatoriu se măsoară și grosimile să fie perpendiculare pe suprafața care se introduce în calcul (proiectată, de regulă, sau desfășurată), iar în cazul când secțiunile apar sub un unghi față de plan, să se calculeze corecțiile respective, pe bază de formule trigonometrice sau construcții grafice. În mod curent, acest deziderat se urmărește încă din faza de explorare, probele fiind luate în poziție orizontală, perpendicular pe direcția medie a zăcămintului pentru corpurile cu înclinare mare (peste 45°) sau în poziție verticală pentru corpurile cu înclinare mică (sub 45°).

Calculul rezervelor se face individual, pe fiecare panou în parte, pe măsura executării lucrărilor și obținerii rezultatelor analizelor de laborator.

Calculul rezervelor se face după cum urmează:

a) Cazul, când grosimea corpului mineralizat este mică și nu depășește profilul lucrărilor miniere care delimitează panoul (blocul) (2 galerii direcționale amplasate la două nivele și 2 suitori amplasate la distanța de 50–100 m).

— În situația unei distribuții uniforme a probelor pe lucrările de contur și când componenții utili au o repartitie uniformă, în ipoteza că nu există nici o relație între conținutul și grosimea corpului de substanță minerală utilă, se poate aplica în calcul media aritmetică, după cum urmează:

$$Q = V \cdot \bar{\gamma}_m; \quad V = S \cdot \bar{g}_m; \quad S = h \cdot l;$$

Pentru ca datele medii obținute pe fiecare lucrare să poată fi folosite în panourile învecinate (fig. XIV.4), este indicat ca efectuarea calculului masei volumetrice, a grosimii și a conținutului să se facă astfel:

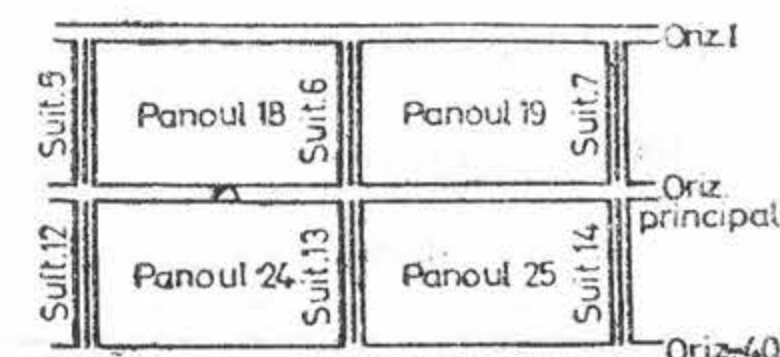
$$\bar{\gamma}_m = \frac{L_1 \bar{\gamma}_1 + L_2 \bar{\gamma}_2 + L_3 \bar{\gamma}_3 + L_4 \bar{\gamma}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$$\bar{g}_m = \frac{L_1 \bar{g}_1 + L_2 \bar{g}_2 + L_3 \bar{g}_3 + L_4 \bar{g}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$$\bar{c}_m = \frac{L_1 \bar{c}_1 + L_2 \bar{c}_2 + L_3 \bar{c}_3 + L_4 \bar{c}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$L_1 - L_4$ — reprezintă lungimea lucrărilor care delimitează panoul; $\bar{\gamma}_1 - \bar{\gamma}_4$ — masa volumetrică medie determinată pentru fiecare lucrare; $\bar{g}_1 - \bar{g}_4$ — grosimea medie determinată pentru fiecare lucrare; $\bar{c}_1 - \bar{c}_4$ — conținutul mediu pe fiecare lucrare.

Fig. XIV.4. Schema dispunerii blocurilor învecinate.



Când panoul este delimitat de un număr mai mic de lucrări, se iau în considerare datele obținute numai din lucrările executate, folosind aceleași formule simplificate.

— În situația când distanța dintre probe nu este egală, masa volumetrică, grosimea medie și conținutul mediu se determină prin ponderare ținând seama de lungimea de influență a fiecărei probe (l_i), după formulele:

$$\bar{\gamma}_m = \frac{\sum \gamma_i l_i}{\sum l_i}; \quad \bar{g}_m = \frac{\sum g_i l_i}{\sum l_i}; \quad \bar{c}_m = \frac{\sum c_i l_i}{\sum l_i};$$

în care: l_i este lungimea de influență, care se măsoară pe planuri și de obicei reprezintă jumătatea distanței de o parte și de alta a unei probe față de probele învecinate.

— În situația când există relație între grosime și conținut, la calcularea conținutului mediu se aplică formulele:

$$\bar{c}_m = \frac{\sum c_i g_i}{\sum g_i},$$

dacă secțiunile de probare sînt echidistante și

$$\bar{c}_m = \frac{\sum c_i g_i l_i}{\sum g_i l_i},$$

dacă secțiunile de probare sînt amplasate la diferite distanțe

Desfășurarea calculelor pe tabele — în situația cea mai simplă — se prezintă în tabelele XIV.8 și XIV.9.

Tabelul XIV.8

Parametrii de calcul al rezervelor pe secțiuni de probare

Nr. crt.	Denumirea probei (secț. de probare)	Masă volumetrică, γ [t/m ³]	Grosime, g [m]	Conținut, c [%] sau [g/t]
1	Sect. 303	3,2	0,5	0,4
2	Sect. 304	3,0	1,0	0,3
...
100	Sect. 501	2,5	1,5	0,8
$n = 100$	Total	300	100	70
	Medie	3	1	0,7

Pentru ușurarea prezentării și verificării calculelor, tabelul XIV.9 poate fi împărțit în două, cantitatea de rezerve pe fiecare panou fiind înscrisă de două ori (coloană finală la primul tabel și cap de coloană la cel de al doilea).

Tabelul XIV.9

Parametrii de calcul al rezervelor pe panouri sau orizonturi

Nr. crt.	Panoul, orizontul	h [m]	l [m]	S [m ²]	g_m [m]	V [m ³]	γ [t/m ³]	Q [t]	c_m [%]	Putere (metal) $Q \cdot c$
1										
...										
25										
Total										
Medie										

Cînd calculele masei volumetrice, a grosimii medii și a conținutului mediu se fac pentru fiecare lucrare în parte, se introduce un tabel intermediar — tabelul XIV.10. Însumarea blocurilor se face după tabelul XIV.9 dat ca model.

Tabelul XIV.10

Parametrii de calcul al rezervelor după lucrarea de explorare

Lucrarea	Denumirea probei	Masă volumetrică, γ [t/m ³]	Grosime, g [m]	Conținut, c [%]
1				
...				
50				
	Total			
	Medie			

Tabelul XIV.11

Parametrii de calcul al rezervelor pe lucrare de explorare și panou

Panou nr.	Lucrare		Masă volumetrică, γ		Grosime, g		Conținut, c	
	Poziție	[m]	[t/m ³]	Putere	[m]	Putere	[%]	Putere
1	L_1							
2	L_2							
3	L_3							
4	L_4							
	Total							
	Medie							

În situația cînd calculul masei volumetrice, grosimii medii și conținutului mediu se face ținînd seama de lungimea de influență, se pot prezenta calculele în tabelul XIV.12.

Atunci cînd există relație între grosime și conținut, în tabele se introduc coloane ajutătoare care să permită efectuarea calculelor prin medie ponderată.

Tabelul XIV.12

Parametrii de calcul al rezervelor după lungimea de influență

Nr. crt.	Denumirea probei (secțiunii de probare)	Lungimea de influență, l [m]	Masă volumetrică		Grosime		Conținut	
			γ [t/m ³]	Putere $\gamma \cdot l$	g [m]	Putere $g \cdot l$	c [%]	Putere $c \cdot l$
1	Sect. 303	10						
2	Sect. 304	15						
...								
...								
...								
100	Sect. 501	8						
	Total							
	Medie							

b) Cazul cind grosimea corpului de substanță minerală utilă depășește lățimea galeriilor de explorare sau al zăcămintelor puternic tectonizate care nu pot fi urmărite continuu, calculul rezervelor prin metoda panourilor de exploatare se realizează pe baza datelor obținute din lucrările care traversează corpul de substanță minerală utilă din acoperiș pînă în culcuș (transversale, suitori, foraje; fig. XIV.5).

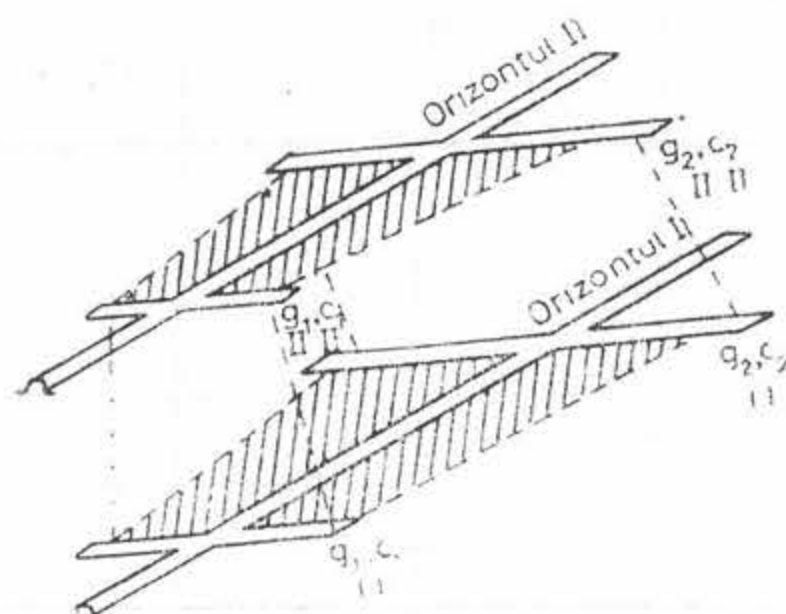


Fig. XIV.5. Schema conturării unui corp de substanță minerală utilă al cărui grosime depășește lățimea galeriei de explorare, în cazul calculului rezervelor prin metoda blocurilor de exploatare.

Desfășurarea calculului pe tabele se face ca și în primul caz, introducându-se tabele intermediare pentru calcularea masei volumetrice, a grosimii medii și a conținutului mediu pe fiecare lucrare în parte și apoi pe laturi, însumând fiecare lucrare în parte.

Extrapolarea datelor de la panourile cu lucrări efectuate și calculul rezervelor se poate face prin două procedee și anume:

— în trepte (fig. XIV.6, a) sau în pînză (fig. XIV.6, b).

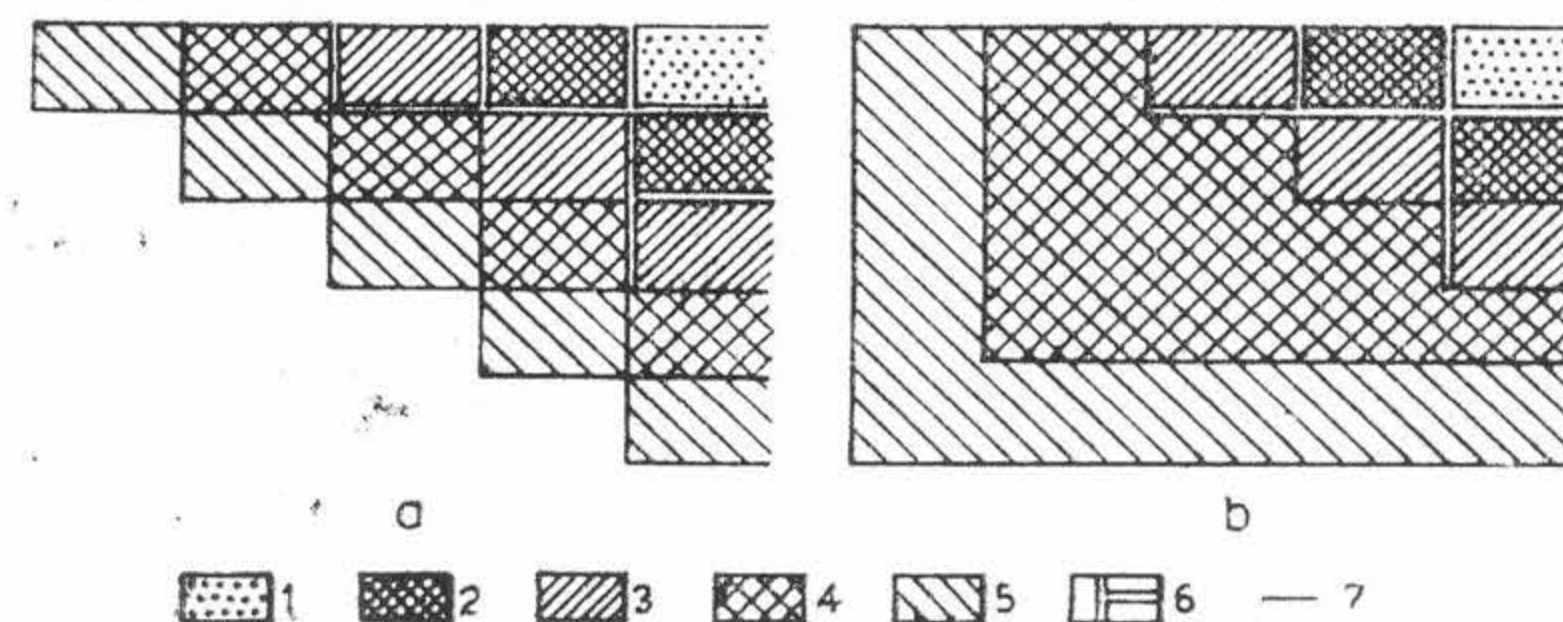


Fig. XIV.6. Schema de conturare a rezervelor extrapolate în adîncime:

a — în trepte; b — în pînză; 1 — porțiuni în exploatare; 2 — blocuri cu rezerve de categoria A; 3 — blocuri cu rezerve de categoria B; 4 — blocuri cu rezerve de categoria C₁; 5 — blocuri cu rezerve de categoria C₂; 6 — lucrări de explorare (galerii și suitori); 7 — conturul blocurilor.

Pentru fiecare caz în parte se pleacă de la considerente de ordin geologic, dînd o deosebită atenție variațiilor de grosime și conținut stabilite în diferite direcții ale zăcămintului (pe înclinare și pe direcție).

Metoda panourilor sau blocurilor de exploatare se aplică frecvent pentru calculul rezervelor corpurilor de substanțe minerale utile simple sau complexe, cînd acestea apar sub formă tabulară (filoane și strate).

Avantajele calculului rezervelor prin metoda panourilor sau blocurilor de exploatare sînt următoarele:

— simplitatea construcțiilor grafice și a tuturor operațiilor de calcul;

— calculul rezervelor poate fi folosit direct la planificarea și proiectarea lucrărilor de exploatare;

— permite separarea panourilor cu calități diferite ale substanței minerale utile.

Dezavantajele metodei constau în următoarele:

— se poate aplica numai atunci cînd corpul de substanță minerală utilă a fost împărțit, prin lucrări miniere, în panouri;

— se poate aplica avantajos numai la zăcămintele de formă tabulară.

4.3. METODA SECȚIUNILOR

Metoda secțiunilor se poate aplica în situația cînd lucrările de explorare sînt amplasate pe anumite aliniamente, pe cît posibil paralele, pe o rețea cît mai uniformă; este necesar, de asemenea, ca lucrările să străbată în întregime corpul de substanță minerală utilă.

Se aplică atât la zăcămintele cercetate prin linii de explorare verticale, cât și la cele cercetate prin linii de explorare orizontale (pe orizonturi). Liniile de explorare care secționează corpul de substanță utilă permit construcția secțiunilor geologice necesare calculului de rezerve.

După modul în care se execută secțiunile prin zăcămint, se disting două variante ale acestei metode:

— metoda *secțiunilor verticale*, care se aplică în situația când explorarea s-a făcut în mare parte prin foraje sau puțuri;

— metoda *secțiunilor orizontale* care se folosește atunci când explorarea s-a făcut în bună parte prin lucrări miniere și foraje amplasate la diferite nivele (orizonturi de explorare).

Secțiunile geologice împart corpul de substanță utilă în blocuri separate prin două plane de secțiune sau, în cazul blocurilor marginale, de un plan de secțiune și de suprafața neregulată a zăcămintului (fig. XIV.7).

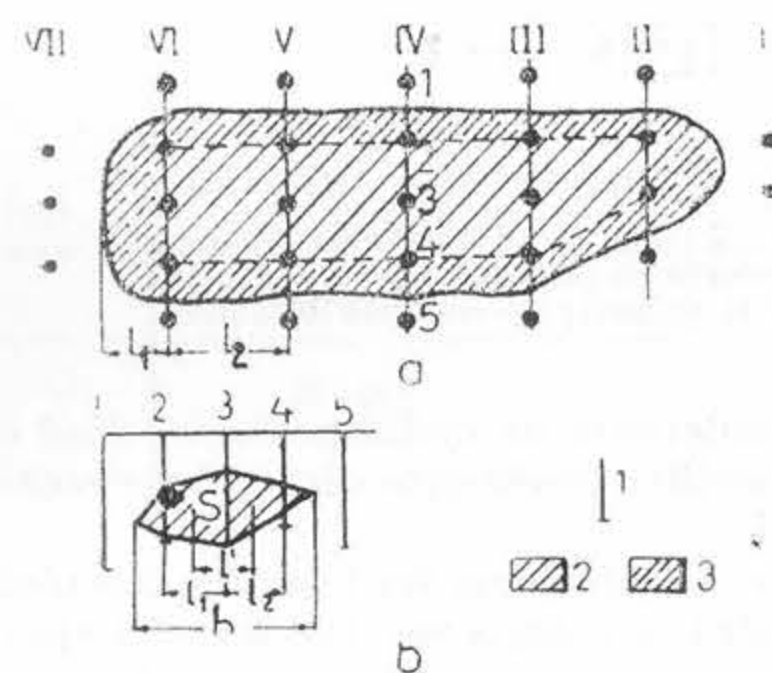


Fig. XIV.7. Schema dispunerii blocurilor de calcul în cazul rezervelor calculate prin metoda secțiunilor:

a — plan; b — secțiune pe linia IV; 1 — lucrări miniere de explorare; 2 — suprafața corpului de substanță minerală utilă; 3 — suprafața zonei exterioare.

Ambele variante de calcul au aceleași principii de calcul al rezervelor.

Rezervele de substanță și de componenți utili se determină pentru fiecare bloc separat.

Volumul blocului (V) se calculează ca produsul dintre suprafața unei secțiuni medii (S_{1-2}) și distanța (l_{1-2}), care se determină prin măsurarea distanței dintre secțiuni.

Suprafața secțiunii este indicat să se măsoare prin planimetrare sau cu ajutorul paletei; dacă secțiunea prezintă o formă mai regulată, aceasta se calculează cu formule geometrice.

Calculul volumului blocului se face folosind următoarele formule:

a) În cazul când suprafețele secțiunilor de substanță utilă care mărginesc blocul sînt aproximativ egale:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l_{1-2}$$

unde: V — reprezintă volumul blocului, m^3 ; S_1 și S_2 — suprafețele care delimitează blocul, m^2 ; l_{1-2} — lungimea (distanța) dintre secțiuni, m .

b) În situația când suprafețele care mărginesc blocul au o formă geometrică asemănătoare, iar ca mărime diferă una față de cealaltă cu peste 40%, se aplică formulele:

— trunchiul de con

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}}{3} \cdot l_{1-2}$$

— trunchiul de piramidă după procedeul grafic

$$V = k \cdot \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l_{1-2}$$

În care notațiile au aceeași semnificație ca mai sus, iar k este un coeficient de corecție care se determină cu ajutorul formulei:

$$k = \frac{2}{3} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{S_1}{S_2} + \frac{S_2}{S_1}}} \right)$$

Valoarea k în funcție de raportul $\frac{S_1}{S_2} = \alpha$ este dată în tabelul XIV.13.

Tabelul XIV.13.

Valoarea coeficientului de corecție k

$\alpha < 1$	$\alpha > 1$	Valoarea, k	$\alpha < 1$	$\alpha > 1$	Valoarea, k
1,0	1,0	1,000	0,033	30,0	0,785
0,71	1,4	0,995	0,025	40,0	0,770
0,50	2,0	0,980	0,020	50,0	0,760
0,33	3,0	0,955	0,017	60,0	0,751
0,25	4,0	0,933	0,014	70,0	0,745
0,20	5,0	0,915	0,010	100,0	0,733
0,143	7,0	0,888	0,007	140,0	0,724
0,100	10,0	0,859	0,005	200,9	0,714
0,083	12,0	0,845	0,003	300,0	0,706
0,071	14,0	0,833	0,0025	400,0	0,700
0,062	16,0	0,824	0,0020	500,0	0,696
0,050	20,0	0,809	0,0014	700,0	0,692
0,040	25,0	0,795	0,0010	1000,0	0,689

c) În cazul când secțiunile nu sînt paralele, calculul volumului se face astfel:

— dacă unghiul dintre secțiunile alăturate este mai mic de 10° ;

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2}$$

unde: V reprezintă volumul blocului dintre secțiuni, m^3 ; S_1, S_2 — suprafețele secțiunilor, m^2 ; H_1, H_2 — lungimile perpendicularelor coborâte din proiecțiile centrelor de greutate ale suprafețelor, pe linia de explorare opusă, m ;

— dacă unghiul dintre secțiunile alăturate este mai mare de 10° se utilizează formula:

$$V = \frac{\alpha}{\sin \alpha} \cdot \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2}$$

în care α este unghiul dintre secțiunile alăturate, măsurat în radiani.

La blocurile marginale care au numai o singură secțiune, volumul se determină în funcție de gradul de efilare a mineralizației (substanței utile), cu una din următoarele formule:

— formula trapezului

$$V = \frac{S_1 \cdot l_1}{2}$$

— formula conului

$$V = \frac{S_1 \cdot l_1}{3}$$

în care: V reprezintă volumul blocului, m^3 ; S_1 — suprafața secțiunii marginale; l_1 — distanța dintre suprafața secțiunii și planul de efilare a corpului de substanță minerală utilă.

Calculul conținutului mediu pe secțiuni se poate face prin trei procedee, în funcție de caracterul repartiției componentelor utili:

— *procedeu mediei aritmetice*, folosit în cazul când nu există dependență între conținut și grosimea corpului de substanță utilă;

— *procedeu mediei ponderate cu grosimea*, utilizat atunci când există dependență între grosime și conținut și când lucrările de explorare sînt uniform repartizate;

— *procedeu mediei ponderate cu grosimea și cu lungimea de influență a lucrărilor de explorare*, folosit în cazul când există dependență între grosime și conținut și când lucrările de explorare sînt repartizate neuniform.

Rezervele totale pe zăcămint se calculează prin însumarea rezervelor pe fiecare bloc în parte. Calculul conținutului mediu se face prin medie ponderată, ținînd seama de cantitatea de rezerve care revine fiecărui bloc.

Determinarea conținuturilor medii în componenți utili pe fiecare lucrare de explorare, după procedeu mediei aritmetice sau după procedeu mediei ponderate se face conform tabelelor XIV.14 și XIV.15, iar pe secțiuni conform tabelelor XIV.16 și XIV.17.

Conținutul mediu pe bloc se calculează prin ponderare cu ariile secțiunilor.

Tabelul XIV.14

Conținuturile și grosimile medii pe lucrări de explorare calculate prin media aritmetică

Numărul probei	Grosimea g [m]	Conținutul în componenți utili, c [%]
854 855 856	Puțul de explorare nr. 12	
	0,5	44,8
	0,5	45,2
Pe lucrare minieră	0,6	42,3
	1,6	44,1
	Forajul nr. 81	
	0,3	46,8
	0,5	41,2
1251 1252 1253 1254	0,5	40,6
	0,5	43,1
	1,8	42,9
Pe foraj		42,9

Tabelul XIV.15

Determinarea conținuturilor și grosimilor pe lucrări de explorare pe baza procedeu mediei ponderate

Numărul probei	Grosimea, g [m]	Conținutul în componenți utili, c [%]	Produsul din- tre conținut și grosime ($g \cdot c$)	Conținutului me- diu în compo- nenți utili [%] $\frac{\Sigma g \cdot c}{\Sigma g}$
341	0,20	Puțul de explo- rare nr. 25 12,4	2,48	
342	0,50	8,5	4,25	
343	0,50	5,9	2,95	
344	0,40	9,1	3,64	
Pe lucrare minieră	1,60	— Forajul nr. 41	13,32	8,3
531	0,50	4,9	2,45	
532	0,30	18,2	5,46	
533	1,10	7,9	8,69	
Pe foraj	1,90	—	16,60	8,7

Tabelul XIV.16

Determinarea conținuturilor și grosimilor medii pe secțiuni, pe baza procedurii mediei aritmetice

Nr. crt.	Lucrări	Grosime, g [m]	Conținut în componenți utili, c [g/t sau %]
		Secțiunea V-V	
1	Puțul nr. 4	0,90	15
25	Puțul nr. 5	0,20	54
...
20	Forajul nr. 49	0,75	36
Total	—	12,40	948

Numărul lucrărilor miniere (n) = 20; Grosimea medie pe secțiune (g) = $12,40/20 = 0,62$ m; Conținutul mediu pe secțiune (c) = $948/20 = 47,4$ g/t.

Tabelul XIV.17

Determinarea conținuturilor și grosimilor medii pe secțiuni, pe baza procedurii mediei ponderate

Nr. crt.	Lucrări	Grosime, g [m]	Conținutul mediu în comp. utili pe lucrare, c [g/t]	Lungimea de influență a lucrării, l [m]	Produsul $g \cdot l$	Produsul $g \cdot l \cdot c$	Conținutul mediu pe secțiune $\frac{\sum g l c}{\sum g l}$ [g/t]	Grosimea medie pe secțiune $\frac{\sum g l}{\sum l}$ [m]
Secțiunea V-V								
1	Puțul nr. 4	0,90	15	20	18	270		
2	Puțul nr. 5	0,20	54	24	4,8	259,2		
...		
16	Forajul nr. 49	0,75	36	15	11,25	405,0		
Total pe secțiune	—	—	—	256	221,8	9924,4	44,7	0,87

4.4. METODA POLIGOANELOR

Metoda poligoanelor este numită și *metoda celor mai apropiate suprafețe* (A. K. Boldîrev). Ea se bazează pe principiul extinderii caracteristicilor zăcămintului (grosimea corpului de substanță utilă, conținutul în metale etc.) cunoscute într-o lucrare de explorare (foraj vertical sau puț) asupra zonei de influență vecină.

Construcția suprafețelor apropiate se face în modul următor: fiecare lucrare de explorare se unește, pe planul pentru calculul rezervelor, prin linii drepte punctate, cu toate lucrările apropiate. Pe mijlocul segmentelor obținute se ridică perpendiculare (pentru ușurință se folosește un șablon special), care se întretaie și care formează în jurul fiecărei lucrări un poligon, ale cărui puncte se găsesc toate mai aproape de lucrarea amplasată în centrul lui decât de orice altă lucrare (fig. XIV. 8).

Trasarea poligoanelor se face, în general, în direcția mersului acelor ceasornicului, de la periferie spre centrul planului.

Împărțind în poligoane întreaga suprafață pentru care se calculează rezervele de substanță minerală utilă, zăcămintul se înlocuiește cu prisme poliedrice drepte, care au la bază poligoane. Fiecare din aceste prisme are înălțimea egală cu grosimea zăcămintului, măsurată în lucrarea din centrul poligonului. Fețele acestor prisme sînt plane verticale care trec prin laturile poligoanelor.

Astfel, calculul rezervelor prin această metodă înlocuiește forma reală a zăcămintului cu o figură geometrică, formată în plan din poligoane, iar în spațiu din poliedre (fig. XIV. 9).

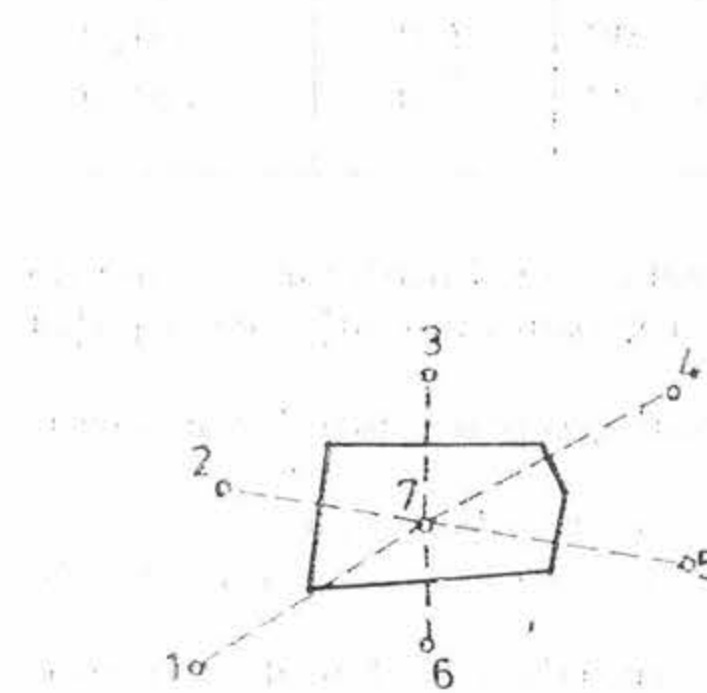


Fig. XIV.8. Trasarea suprafețelor blocurilor prin metoda punctelor celor mai apropiate.

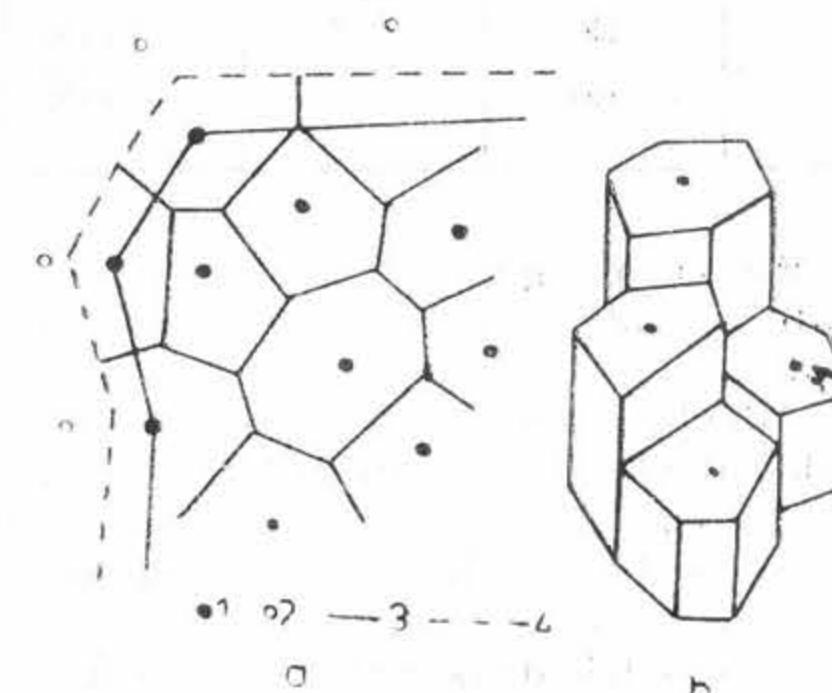


Fig. XIV.9. Calculul rezervelor prin metoda poligoanelor.

a — fragment din planul de calcul; b — un fragment din corpul de substanță minerală utilă transformat în prisme poligonale (perspectivă); 1 — sonde care au traversat corpul de substanță utilă; 2 — sonde care nu au interceptat substanța utilă; 3 — conturul interior; 4 — conturul exterior.

Rezervele se calculează pentru fiecare prismă în parte, după care se însumează rezervele tuturor prismelor, rezultând rezerva totală a zăcămintului.

Calculul rezervelor pentru fiecare prismă se face după cum urmează :

$$Q_1 = V_1 \cdot \gamma_1; \quad V_1 = S_1 \cdot g_1; \quad M_1 = \frac{Q \cdot c_1}{100};$$

unde : Q_1 reprezintă cantitatea de rezervă a unei prisme, t ; V_1 — volumul prisme, m^3 ; γ_1 — masa volumetrică, t/m^3 ; S_1 — suprafața poligonului în centrul căruia se află lucrarea, m^2 ; g_1 — grosimea zăcămintului măsurată în lucrarea respectivă, m ; M_1 — metalul conținut în limitele prisme, t ; c_1 — conținutul zăcămintului determinat în lucrarea respectivă, %.

Pentru însumarea rezervelor pe întregul zăcămint se poate folosi tabelul XIV. 18.

Tabelul XIV.18

Parametrii de calcul al rezervelor prin metoda poligoanelor

Numărul poligonului	Suprafața, S [m ²]	Grosimea, g [m]	Volumul, V [m ³]	Masa volumetrică, γ [t/m ³]	Rezervele de minereu [t]	Conținut mediu, c [%]	Rezerve de metal [t]
1	350	10	3 500	3,5	12 250	1,2	148,0
2	700	10	7 000	3,5	25 000	1,8	450,0
...
15	200	5	1 000	3,0	3 000	2,0	60,0
Total	6 500	8	52 000	3,0	156 000	2,0	3 120,0

Metoda poligoanelor se utilizează la calculul rezervelor zăcămintelor orizontale sau slab înclinate, explorate prin foraje sau prin puțuri, cu grosimi și conținuturi puțin variabile.

Calculul rezervelor prin metoda poligoanelor este avantajos prin simplitatea operațiilor de calcul și rapiditatea obținerii rezultatelor.

Metoda prezintă și o serie de neajunsuri dintre care se menționează :

- construirea prismelor poligonale denaturează forma reală a corpului de substanță minerală utilă ;
- prismele poligonale nu pot reprezenta sectoare de exploatare ; calculul rezervelor nu poate fi folosit la planificarea și proiectarea producției.

4.5. METODA TRIUNGHIURILOR

În această metodă toate lucrările se proiectează pe planul de calcul al rezervelor și fiecare lucrare se unește, prin linii drepte, cu lucrările vecine, în așa fel încât se obține o rețea de triunghiuri pe întreaga suprafață a zăcămintului (fig. XIV. 10).

Înălțimea muchiilor acestor prismе corespunde cu grosimea zăcămintului, măsurată în lucrările respective.

Calculul rezervelor pentru fiecare prismă se face după cum urmează :

$$Q_1 = V_1 \cdot \bar{\gamma}_1; \quad V_1 = S_1 \cdot \bar{g}_1; \quad S_1 = \frac{a_1 \cdot l_1}{2};$$

$$\bar{\gamma}_1 = \frac{1}{3} (\gamma' + \gamma'' + \gamma'''); \quad \bar{g}_1 = \frac{1}{3} (g_1' + g_1'' + g_1''');$$

unde : Q_1 reprezintă cantitatea de rezervă a unei prisme, t ; V — volumul prisme, m^3 ; S_1 — suprafața bazei prisme, m^2 ; $\bar{\gamma}_1$ — masa volumetrică medie a celor trei lucrări, t/m^3 ; \bar{g}_1 — grosimea medie a celor trei lucrări, m ; a_1 — latura de bază a triunghiului, m ; l_1 — înălțimea triunghiului de bază, m ;

$$M_1 = \frac{Q_1 \cdot \bar{c}_1}{100}; \quad \bar{c}_1 = \frac{1}{3} (c_1' + c_1'' + c_1''');$$

unde : M_1 este metalul conținut în limitele prisme, t ; \bar{c}_1 — conținutul mediu al celor trei lucrări, g/t sau %.

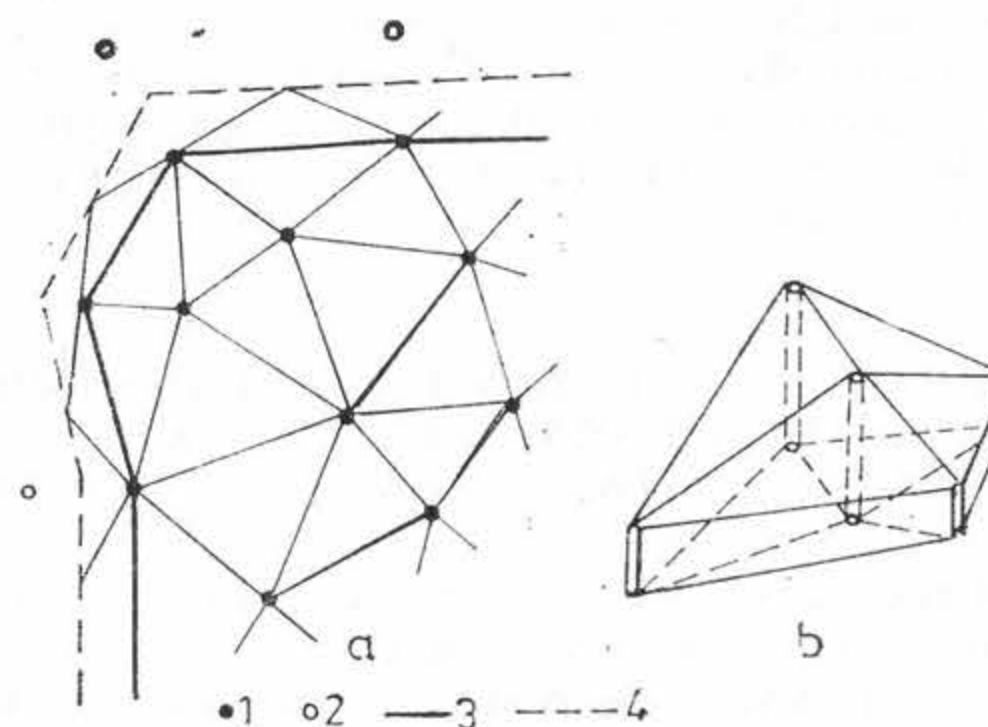


Fig. XIV.10. Calculul rezervelor după metoda triunghiurilor.

a — fragment din planul de calcul ; b — un fragment din corpul de substanță minerală utilă văzut în perspectivă ; 1 — sonde care au străbătut substanța minerală utilă ; 2 — sonde care nu au interceptat corpul de substanță minerală utilă ; 3 — conturul interior ; 4 — conturul exterior.

5. METODE STATISTICE-MATEMATICE ȘI GEOSTATISTICE ÎN ESTIMAREA PARAMETRILOR DE CALCUL AL REZERVELOR

Calitatea unei metode de estimare a rezervelor este determinată în primul rând de capacitatea ei de a ține seama de cât mai multe caracteristici geologice ale zăcămintelor. Metodele clasice au la bază ideea că în fiecare zăcămintă caracteristicile calitative și grosimea variază liniar. Evident, această ipoteză este valabilă extrem de rar, dar admiterea ei a condus la niște metode de calcul foarte simple, potrivite modului de lucru dinaintea utilizării calculatoarelor electronice. Pe lângă ipoteza simplistă a variației liniare, metodele clasice de estimare a rezervelor au devenit depășite și prin incapacitatea lor de a stabili gradul de precizie a rezervelor estimate.

Un prim pas în depășirea neajunsurilor metodelor clasice s-a făcut în perioada 1940—1950, prin utilizarea statisticii matematice, iar saltul mai important s-a produs în ultimele 3 decenii, prin utilizarea metodei geostatistice.

5.1. METODE STATISTICE-MATEMATICE

Metodele statistice-matematice consideră grosimea corpurilor de substanțe minerale utile și caracteristicile calitative ale acestora ca variabile aleatoare. Principalele proprietăți naturale ale zăcămintelor pe care le pune în evidență statistica matematică sînt: legea de distribuție statistică a caracteristicilor măsurate în diferite puncte, dispersia (gradul de variabilitate) acestora și dependența statistică (legătura corelativă) dintre diferitele caracteristici. Se vor prezenta unele din aplicațiile metodelor statistice-matematice care țin seama de caracteristicile menționate.

5.1.1 STABILIREA VALORII MEDII A PARAMETRILOR DE CALCUL ȚINÎND SEAMA DE LEGEA DE DISTRIBUIȚIE STATISTICĂ A ACESTORA

Fie X o caracteristică oarecare a unui zăcămintă (ex. grosime, caracteristică calitativă) ale cărei valori x_i se cunosc pe baza măsurătorilor sau a determinărilor pe probe. Dacă dintr-un zăcămintă s-ar recolta probe pînă la epuizarea rezervelor acestuia, valoarea medie x_0 calculată ar coincide cu cea reală. Mulțimea acestor probe constituie o colectivitate statistică. Din lucrările geologice se extrage un număr limitat de probe constituind o selecție, al cărei volum este neglijabil în raport cu colectivitatea statistică. Ca urmare, media valorilor determinate experimental, numită *medie de selecție*, nu coincide cu media colectivității statistice, deci nici cu media reală. În scopul reducerii diferenței dintre media de selecție (singura care poate fi calculată efectiv) și cea reală este indicat ca din distribuția empirică (distribuția datelor experimentale) să se deducă legea de distribuție statistică a colectivității, apoi să se calculeze media corespunzătoare acestei legi.

Fie distribuția empirică a variabilei X cea prezentată în tabelul următor:

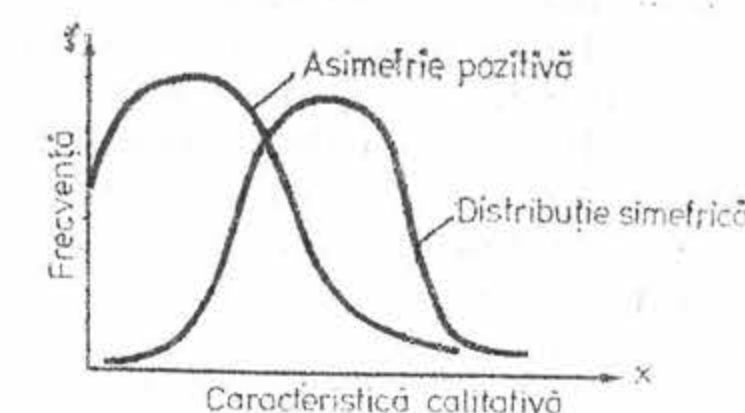
Media clasei	x_1	$x_2 \dots x_n$
Frecvența relativă pe clase	f_1	$f_2 \dots f_n$

Media de selecție \bar{x} este dată de relația:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n f_i x_i$$

Pentru distribuția normală care este simetrică, media de selecție estimează absolut corect media colectivității generale. Numeroasele cercetări efectuate au arătat că, în majoritatea covârșitoare a cazurilor, distribuția caracteristicilor calitative ale zăcămintelor prezintă o asimetrie pozitivă (dreaptă), adică probele cu conținut mai mic decît media sînt mai frecvente, ca în fig. XIV. 11.

Fig. XVI. 11. Distribuția simetrică și asimetrică pozitivă.



Într-o distribuție asimetrică pozitivă, media de selecție supraestimează media colectivității generale ($\bar{x} > x_0$). Pentru diminuarea acestei surse de erori sistematice în plus, din datele experimentale se deduc legea de distribuție statistică a caracteristicii X , exprimată prin funcția de frecvență $f(x)$, cu ajutorul căreia se calculează media acestei colectivități, după formula:

$$x_0 = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} x f(x) dx$$

În principiu, pentru stabilirea funcției de frecvență se face o schimbare de variabilă $y = g(x)$, astfel ca variabila y să se supună unei legi de distribuție cunoscute. Dacă $F(y)$ este funcția de frecvență a variabilei y , atunci media x_0 este dată de relația:

$$x_0 = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} x F[g(x)] \frac{dg(x)}{dx} dx$$

Schimbarea de variabilă $y = (\log 100 x)^\alpha$ conduce la o distribuție normală a variabilei y prin alegerea convenabilă a exponentului α , ceea ce justifică denumirea de *distribuție log-normală generalizată* a variabilei x . La noi în țară există programe care asigură automatizarea completă a calculelor (schimbarea de variabilă, alegerea exponentului α , testarea normalității distribuției variabilei y și calculul mediei x_0). Experimentările făcute au arătat că în minereurile de metale neferoase media aritmetică supraestimează conținutul cu 5–10%.

5.1.2. UTILIZAREA ANALIZEI DE CORELAȚIE ÎN ESTIMAREA CONȚINUTULUI REZERVELOR

Adesea, între diferitele caracteristici ale zăcămintelor există o dependență statistică, numită *legătură de corelație*. Intensitatea legăturii de corelație se măsoară cu ajutorul coeficientului de corelație menționat la prelucrarea rezultatelor analizelor de control extern. Coeficientul de corelație r_{xy} dintre caracteristicile x și y variază între -1 și $+1$. Dacă $r_{xy} < 0$ corelația este inversă (când x crește y scade), iar dacă $r_{xy} > 0$ corelația este directă (y crește odată cu x). Se admite că legătura de corelație este suficient de puternică între x și y pentru a permite să se exprime y în funcție de x dacă $|r_{xy}| \geq 0,5$. În cele ce urmează se dau câteva exemple de legături de corelație.

— Între rezultatele analizelor de bază și de control extern (și intern) există o corelație directă puternică.

— La cărbuni, există o corelație inversă între conținutul în cenușă și puterea calorică și directă între conținutul în cenușă și greutatea volumetrică.

— În minereurile de metale neferoase, unele elemente disperse apar ca substituenți izomorfi în rețeaua cristalină a mineralelor elementelor de bază, ca de exemplu cadmiul în blendă, indiul în galenă și blendă, seleniul în pirită și calcopirită. În asemenea cazuri, conținutul în elemente disperse este în corelație directă cu metalul de bază respectiv (ex. cadmiul cu zincul).

— O legătură de corelație aparte o constituie corelația spațială. De exemplu, în zăcămintele de minereuri neferoase din eruptivul neogen Baia Mare apare o zonalitate pe verticală: minereu bogat în aur \rightarrow minereu polimetalic \rightarrow minereu de cupru. În asemenea cazuri, de exemplu, între conținutul de aur la un nivel și cota absolută există o corelare directă (conținutul în aur scade cu adâncimea).

Existența unei legături de corelație permite stabilirea expresiei matematice a dependenței statistice $y = f(x_1, \dots, x_m)$, numită *ecuație de regresie*. Cu ajutorul ecuației de regresie se poate stabili valoarea medie y . De exemplu, pentru calculul conținutului mediu în cadmiu se poate proceda astfel:

— pe baza analizării tuturor probelor pentru elementele utile principale se calculează conținuturile medii în Zn și Pb % pe fiecare panou;

— analizând 30–50 probe reprezentative pe întregul zăcămint atît pentru Zn, Pb cît și pentru cadmiu, se stabilește ecuația de regresie $Cd = f(Zn, Pb)$;

— înlocuind în ecuația de regresie conținuturile medii în Zn și Pb se obține conținutul mediu în Cd pe fiecare panou, chiar și pentru cele din care nu s-a analizat nici o probă pentru acest element.

Pentru ecuația de regresie se ia o funcție de forma:

$$y = a_0 + a_1 f_1(x_1, x_2, \dots, x_m) + \dots + a_p f_p(x_1, x_2, \dots, x_m)$$

unde $f_i(x_1, x_2, \dots, x_m)$ sînt funcții liniar independente și ele se aleg pe baza cunoașterii legăturii de variație a lui y în funcție de x_1, x_2, \dots, x_m . De exemplu, dacă se urmărește

stabilirea ecuației de regresie care exprimă puterea calorică inferioară (Q) în funcție de conținutul în cenușă la anhidru (A) al unui zăcămint de cărbune, se va lua o ecuație de regresie de forma $Q = a_0 + a_1 f(A)$, unde pentru $f(A)$ se va lua o funcție care să exprime faptul că Q descrește cînd A crește; ex. $Q = a_0 + a_1 e^{-A}$ (rezultînd $a_1 > 0$) sau $Q = a_0 + a_1 \ln A$, ori $Q = a_0 + a_1 A$ (rezultînd $a_1 < 0$).

Coeficienții a_0, a_1, \dots, a_p din ecuația de regresie se determină prin metoda celor mai mici pătrate, care conduce la sistemul:

$$\begin{vmatrix} n & f_{1i} & f_{2i} & \dots & f_{pi} \\ f_{1i} & f_{1i}^2 & f_{1i}f_{2i} & \dots & f_{1i}f_{pi} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{pi} & f_{pi}f_{1i} & f_{pi}f_{2i} & \dots & f_{pi}^2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_p \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} y_i \\ y_i f_{1i} \\ \vdots \\ y_i f_{pi} \end{vmatrix}$$

unde cu $f_{ji} (j=1, 2, \dots, p)$ s-a notat simbolic expresia $\sum_{i=1}^n f_j(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi})$, iar x_{ki} și y_i

reprezintă valorile caracteristicilor x_{ki} și y_i pe proba i . Numărul total de probe este n .

Utilizarea analizei de corelație conduce la realizarea unor economii importante în cercetarea geologică, prin reducerea substanțială a numărului de determinări pentru caracteristicile care depind statistic de altele.

5.2. METODA GEOSTATISTICĂ

Geostatistica constituie aplicarea la fenomenele geologice a teoriei variabilelor regionalizate, elaborată de George Matheron. Orice caracteristică a zăcămintelor de substanțe minerale utile care se exprimă numeric este o variabilă regionalizată (ex.: grosimea unui strat, filon sau unei lentile, caracteristicile calitative etc.).

Variabilelor regionalizate li se asociază două noțiuni de *localizare*: *cîmpul sau domeniul geometric* și *suportul geometric*. Prin cîmp sau domeniu geometric se înțelege partea dintr-un zăcămint în care se studiază o variabilă regionalizată. De exemplu, dacă un zăcămint este format din 30 de filoane și se studiază conținutul în plumb pe un singur filon, domeniul geometric al variabilei regionalizate (conținut în plumb) este filonul respectiv. Suportul geometric al unei variabile regionalizate este elementul spațial pe care sînt definite valorile sale. De exemplu, în cazul unui zăcămint cuprififer de tip porfiric, cercetat cu lucrări miniere din care s-au recoltat probe brazdă de cîte 1 m lungime, suportul geometric al conținutului în cupru pe probe este brazda de o formă, mărime și orientare dată. Schimbînd domeniul geometric și/sau suportul geometric se obține o nouă variabilă regionalizată care prezintă anumite analogii cu prima, dar nu coincide cu ea. De exemplu, dispersia unei variabile regionalizate crește atunci cînd domeniul geometric se mărește sau suportul geometric se micșorează. Unele variabile regionalizate sînt de *suport punctual* ca de exemplu grosimea unui strat sau a unui filon, cota culcușului unui strat de cărbune etc. Ținînd seama că volumul unei probe geologice este neglijabil în raport cu volumul rezervelor unui zăcămint, adesea se admite practic că și conținutul probelor este de suport punctual.

5.2.1. FUNCȚIILE SEMIVARIOGRAMĂ ȘI COVARIOGRAMĂ

Ideia centrală a geostatisticii este corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, adică faptul că, în medie, între valorile unei variabile regionalizate, măsurate în două puncte, există o similitudine cu atât mai mare sau o deosebire cu atât mai mică, cu cât cele două puncte sînt mai apropiate. Pentru exprimarea numerică a intensității acestei similitudini, respectiv deosebiri, G. Matheron a definit funcția covariogramă, respectiv semivariogramă. Fie M un punct din domeniul geometric al unei variabile regionalizate și $f(M)$ valoarea ei în acest punct. Notăm simbolic cu $M+h$ extremitatea vectorului h cu originea în M și cu m valoarea medie a variabilei regionalizate în domeniul său geometric, de volum V .

Covariograma este definită de relația:

$$G(h) = \frac{1}{V} \int_{(V)} [f(M+h) - m] \cdot [f(M) - m] dV$$

iar semivariograma prin relația:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2V} \int_{(V)} [f(M+h) - f(M)]^2 dV$$

Se observă ușor că $G(0)$ coincide cu dispersia variabilei regionalizate și că între covariogramă și semivariogramă există relația:

$$G(h) = G(0) - \gamma(h)$$

Dublul semivariogramei, $2\gamma(h)$, se numește *variogramă* și ea reprezintă varianța erorii care se comite cînd valoarea $f(M)$ a variabilei regionalizate se atribuie și punctului $M+h$, situat la distanța h de M .

O variabilă regionalizată este *staționară* dacă semivariograma depinde numai de mărimea și direcția vectorului h și *nestaționară* dacă semivariograma depinde și de poziția vectorului în spațiu, adică și de originea sa. În cazul nestaționară apar și schimbări sistematice ale variabilei regionalizate în spațiu, numite *tendință*; de exemplu creșterea conținutului cu adîncimea, scăderea conținutului de la centru spre periferia unui zăcămint.

5.2.2. VARIABLE REGIONALIZATE STAȚIONARE. PRINCIPALELE CARACTERISTICI ALE MINERALIZAȚIEI PUSE ÎN EVIDENȚĂ DE SEMIVARIOGRAMĂ

Semivariograma pune în evidență principalele caracteristici ale zăcămintelor, care influențează rețeaua lucrărilor geologice și gradul de precizie al rezervelor estimate. Printre aceste caracteristici menționăm: continuitatea, gradul de variabilitate, raza de influență și anizotropia.

Continuitatea mineralizației este dată de comportarea semivariogramei în jurul originii (h foarte mic). Sub aspectul continuității se disting trei tipuri de variabile regionalizate: *continuu*, *liniar* și *discontinuu* (efect de pepită), reprezentate în fig. XIV.12.

Primul caz este caracterizat printr-o curbă tangentă în origine la axa oh și reprezintă un înalt grad de continuitate. Acesta ar fi cazul grosimii unor strate de cărbuni.

Tipul liniar, cu tangenta în origine oblică, denotă o mineralizație cu o continuitate în medie. Acest caz se poate întâlni la conținutul în metale feroase și neferoase.

Tipul al treilea reprezintă o discontinuitate accentuată, cu apariția efectului de pepită, și este frecvent la zăcămintele aurifere cu iviri de aur vizibil. De menționat că efectul de pepită nu exprimă doar variațiile locale mari, ci și erorile comise la recoltarea, prelucrarea și analizarea probelor geologice. Așa se explică faptul că efectul de pepită apare și în zăcămintele de minereu polimetalic.

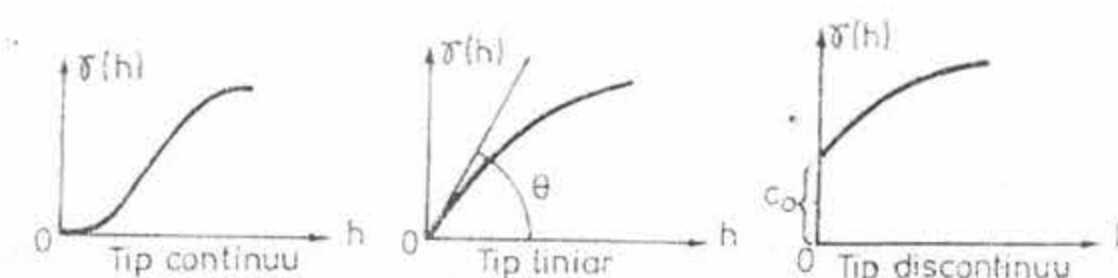


Fig. XIV.12. Tipuri de semivariograme sub aspectul continuității.

Gradul de variabilitate a mineralizației este dat de înălțimea curbei față de axa orizontală, adică de dispersia caracteristicii studiate (σ^2).

Exprimînd cantitativ corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, semivariograma dă un sens concret noțiunii de *rază de influență* a unei probe sau a unei lucrări, permițînd determinarea ei efectivă în metri. Recoltînd probe sau executînd lucrări cu distanța h între ele, este foarte natural să ne așteptăm ca în urma repetării procesului, cele două probe sau lucrări să indice, în medie, valori cu atât mai apropiate ale unei caracteristici, cu cât h este mai mic. Pe măsură ce această distanță crește, corelația devine tot mai slabă, iar peste o anumită limită valorile din cele două puncte devin statistic independente. Distanța maximă a pînă la care valorile unei caracteristici sînt corelate și peste care ele devin statistic independente se numește *rază de influență*. Raza de influență este principala proprietate a unui zăcămint care influențează distanța necesară între lucrările geologice, ea crescînd proporțional cu raza de influență.

Semivariograma scoate în evidență și *anizotropia* mineralizației. În unele zăcămintele, variația mineralizației este aceeași în toate direcțiile. În aceste cazuri spunem că variabila regionalizată studiată și semivariograma ei sînt *izotrope*. Adesea apar variații deosebite ale mineralizației în diferite direcții. În asemenea situații, mineralizația este *anizotropă*. Anizotropia zăcămintelor impune distanțe deosebite dintre lucrările de cercetare geologică în diferite direcții.

Caracteristicile principale ale mineralizației unui zăcămint, puse în evidență de semivariogramă, au o influență determinantă asupra desimii necesare a lucrărilor de cercetare geologică și a gradului de precizie al rezervelor estimate. Pentru a ilustra influența fiecăreia, se vor compara succesiv cîte două zăcămintele în care o caracteristică se schimbă, iar celelalte trei rămîn neschimbate. În prezentarea acestor influențe se are în vedere faptul că semivariograma măsoară discordanța dintre valorile unei caracteristici în două puncte situate la distanța h unul de altul, că aceasta este varianța unei erori de estimare. În fig.

fig. XIV.13 se reprezintă semnificația unora din caracteristicile puse în evidență de semivariogramă și de covariogramă, referirile făcându-se la un model cu plafon.

Fie două zăcăminte cu același grad de variabilitate a mineralizației (plafonul comun), raze de influență egale și izotrope, dar cu continuitatea diferită (fig. XIV.14).

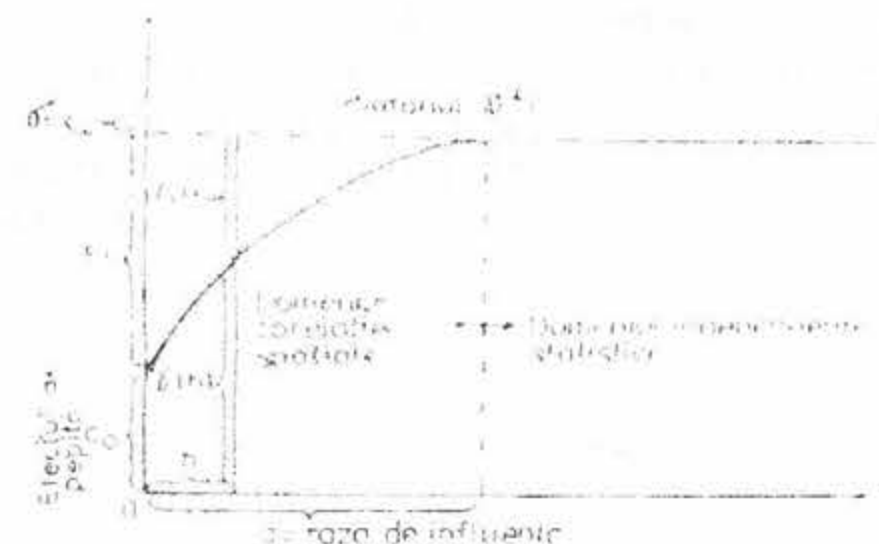


Fig. XIV.13. Caracteristicile puse în evidență de semivariogramă și de covariogramă la un model cu plafon.

Din fig. XIV.14, a rezultă că la aceeași distanță h dintre lucrări, în zăcămintul 1 rezervele se obțin cu o eroare de estimare mult mai mică decât în zăcămintul 2. Invers, pentru comiterea aceleiași erori de estimare a rezervelor, în cadrul zăcămintului 2 lucrările trebuie executate la distanțe (d_2), mult mai mici decât în zăcămintul 1 (d_1), (fig. XIV.14, b).

Considerând gradul de variabilitate diferit, se poate constata influența lui asupra densității lucrărilor geologice și a varianței erorii de estimare a rezervelor, ca în fig. XIV.14, c.

Rolul hotărâtor al razei de influență este ilustrat în fig. XIV.14, d și XIV.14, e.

Anizotropia mineralizației impune distanțe deosebite între lucrările geologice în diferitele direcții ale zăcămintului. În cazul unui zăcămint tabular, dacă razele de influență în direcțiile principale de variație a mineralizației sînt a_x și a_y , atunci distanțele necesare între lucrările geologice pe cele două direcții (d_x și d_y) trebuie să fie în proporția

$$\frac{d_x}{d_y} = \frac{a_x}{a_y}.$$

5.2.3. CALCULUL SEMIVARIOGRAMEI EXPERIMENTALE

Așa cum a fost definită, semivariograma nu poate fi determinată direct. Din datele obținute în lucrările de cercetare geologică se obține un estimator al semivariogramei, numit *semivariogramă experimentală*.

În vederea calculării semivariogramei experimentale se procedează în felul următor :

— se stabilesc direcțiile în care urmează a se calcula semivariograma experimentală ; în cazul zăcămintelor tabulare se alege cel puțin două direcții, iar la zăcămintele izometrice cel puțin trei direcții ; la alegerea acestor direcții trebuie avut în vedere atât modul de variație a mineralizației cît și amplasamentul lucrărilor geologice ;

— pentru fiecare direcție în care urmează să se calculeze semivariograma experimentală se fixează lungimea minimă d și maximă D a vectorului \vec{h} ; distanța minimă variază în funcție de metodica de cercetare și ea nu poate fi mai mică decît distanța medie

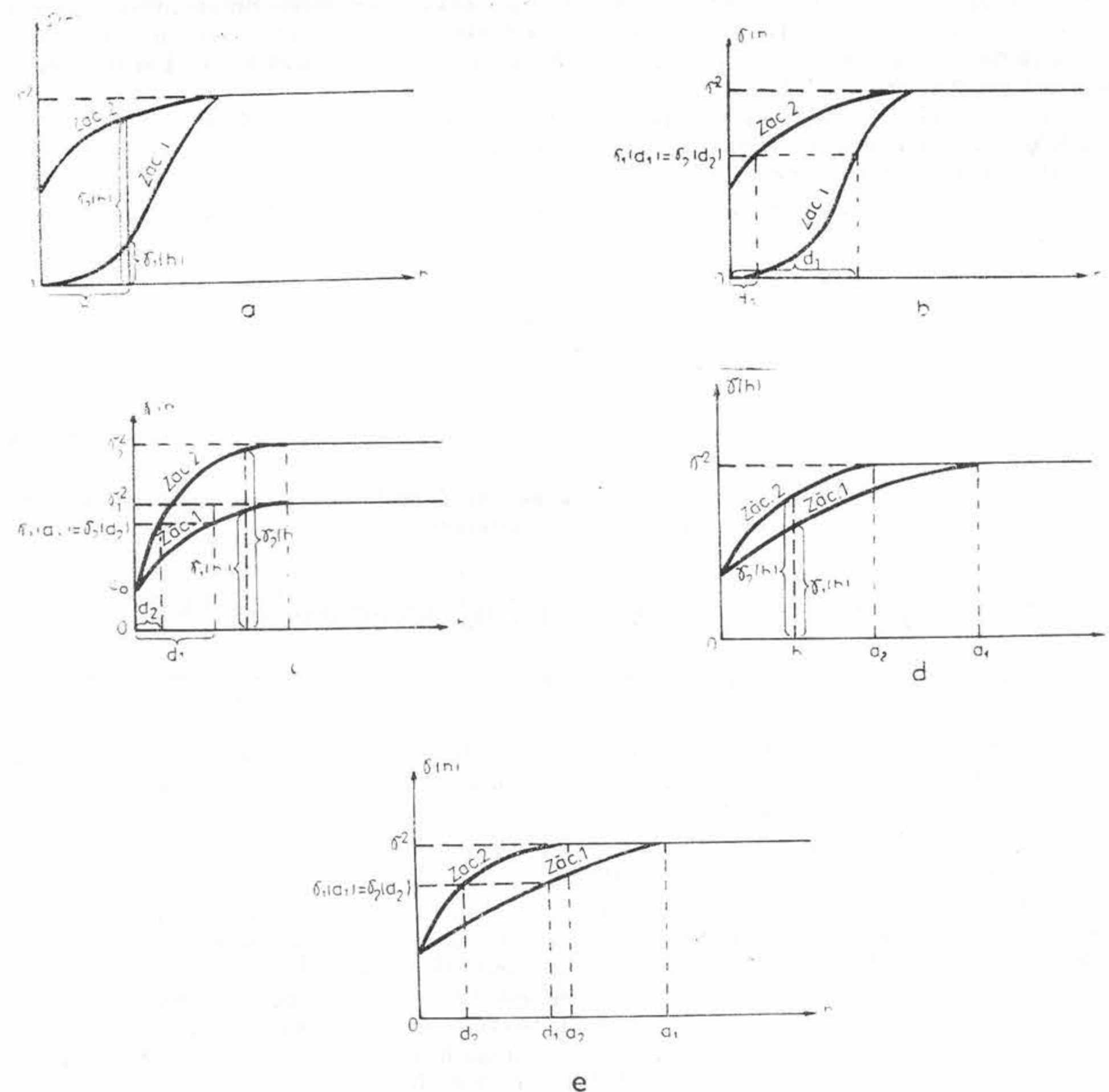


Fig. XIV.14. Influența caracteristicilor puse în evidență de semivariogramă asupra gradului de precizie al rezervelor și a densității lucrărilor geologice :

a — influența continuității mineralizației asupra gradului de precizie a rezervelor geologice ; b — influența continuității mineralizației asupra densității lucrărilor geologice ; c — influența gradului de variabilitate a mineralizației asupra densității lucrărilor geologice și a preciziei estimării rezervelor ; d — rolul razei de influență privind eroarea de estimare a rezervelor ; e — rolul razei de influență privind densitatea lucrărilor geologice.

dintre lucrările pe direcția respectivă; distanța maximă variază între dimensiunea maximă a unei unități de calcul și 1/2 din extinderea zăcămintului pe direcția considerată; semivariograma se calculează pentru distanțele $h_i = id$, unde i variază între 1 și o valoare maximă pentru care $h_i \leq D$;

— lucrările geologice nu se execută, de regulă, rigid pe aceeași direcție și la distanțe fixe între ele, de aceea se adoptă, pentru fiecare direcție j , toleranțe de direcție $\Delta\theta_{ji}$ și de distanță Δd_{ji} , separat pe distanțe h_i ;

— semivariograma în direcția θ_j , pentru distanța h_i , se calculează cu ajutorul formulei:

$$\gamma(h_i, \theta_j) = \frac{1}{2n_{ij}} \sum_x [f(x + h_i) - f(x)]^2$$

în care n_{ij} reprezintă numărul perechilor de lucrări sau probe care se înscriu în direcția θ_j și distanța h_i .

Semivariograma experimentală se obține sub formă tabelară, cu valorile pentru fiecare distanță în cadrul direcțiilor luate în considerare.

5.2.4. MODELAREA SEMIVARIOGRAMEI EXPERIMENTALE

Semivariograma experimentală prezintă două neajunsuri în utilizarea ei directă la estimarea rezervelor:

— valorile sale se cunosc doar în 2—3 direcții și în fiecare direcție numai pentru anumite distanțe h ; în procesul estimării rezervelor sînt necesare valorile semivariogramei pentru orice direcție și distanță;

— semivariograma experimentală prezintă o serie de fluctuații datorate compoziției aleatoare din variația mineralizației.

Datorită acestor motive este necesar ca din valorile semivariogramei experimentale să se deducă un model, numit *semivariogramă teoretică*, care să elimine variațiile aleatoare și să ia valori cât mai apropiate de cele experimentale. În fig. XIV.15 se reprezintă schematic o semivariogramă experimentală și modelul teoretic corespunzător.

La modelarea semivariogramei experimentale trebuie avute în vedere următoarele:

— alegerea modelului de semivariogramă teoretică;

— determinarea parametrilor semivariogramei teoretice, astfel ca să treacă cât mai aproape de punctele semivariogramei experimentale.

În vederea alegerii modelului semivariogramei teoretice se reprezintă grafic punctele semivariogramei experimentale în același sistem de axe, trasîndu-se și plafonul (dreapta orizontală la distanța σ^2 de axa oh). Pentru modelul teoretic se alege una din funcțiile $\gamma(h)$ descrise în literatura de specialitate.

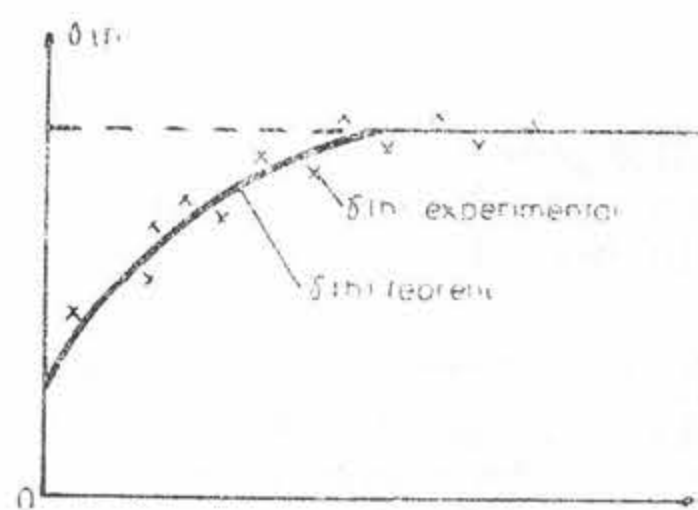


Fig. XIV.15. Modelarea semivariogramei experimentale.

5.2.4.1. Mineralizații izotrope

Adesea, mineralizația se comportă aproximativ la fel în toate direcțiile. Acest lucru este pus în evidență de faptul că valorile semivariogramei pentru aceeași distanță h , calculate în diferite direcții, sînt aproximativ egale. În asemenea cazuri spunem că variabila regionalizată studiată este izotropă. Din valorile semivariogramei experimentale, calculate în 2—3 direcții, se calculează una medie, prin ponderare după numărul perechilor de puncte, separat pentru fiecare lungime h , ca în exemplul din tabelul XIV.19.

Tabelul XIV.19

Calculul semivariogramei experimentale medii

Distanța h_i	Direcția 1		Direcția 2		Direcția 3		Media	
	n_{i1}	$\gamma_1(h_i)$	n_{i2}	$\gamma_2(h_i)$	n_{i3}	$\gamma_3(h_i)$	n_i	$\gamma(h_i)$
25	520	0,04	570	0,06	85	0,05	1175	0,0504
50	500	0,12	550	0,10	80	0,11	1130	0,1152
75	470	0,18	520	0,17	77	0,18	1067	0,1751
100	420	0,21	500	0,20	72	0,21	992	0,2050

În acest exemplu, $\gamma(50)$ a rezultat în felul următor:

$$\gamma(50) = \frac{500 \cdot 0,12 + 550 \cdot 0,10 + 80 \cdot 0,11}{500 + 550 + 80} = 0,1152$$

Se subliniază că o semivariogramă medie numai atunci se poate calcula cînd din tabele și mai ales din grafice rezultă că în toate direcțiile semivariograma experimentală este aproximativ aceeași, adică este izotropă.

Semivariograma teoretică, în cazul izotrop, este de forma:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \gamma_1(h)$$

unde C_0 și C_1 sînt constante iar $\gamma_1(h)$ este o funcție de h care mai poate depinde și de un parametru, notat de regulă cu a . După tipul funcției $\gamma_1(h)$, din literatura de specialitate și din numeroase aplicații practice realizate pe plan mondial și la noi în țară au rezultat următoarele modele principale de semivariogramă teoretică:

Modele cu plafon. Sînt cele în care semivariograma se stabilizează în jurul plafonului. Dintre acestea cel mai important este *modelul sferic al lui Matheron*, cu expresia:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & \text{pentru } h < a \\ C_0 + C_1 & \text{pentru } h \geq a \end{cases}$$

Acesta este modelul care apare în marea majoritate a zăcămintelor. Semnificația parametrilor C_0 , C_1 și a rezultă din fig. XIV.16, a.

Un alt model cu plafon este cel *exponențial*, cu expresia :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1(1 - e^{-\frac{h}{a}})$$

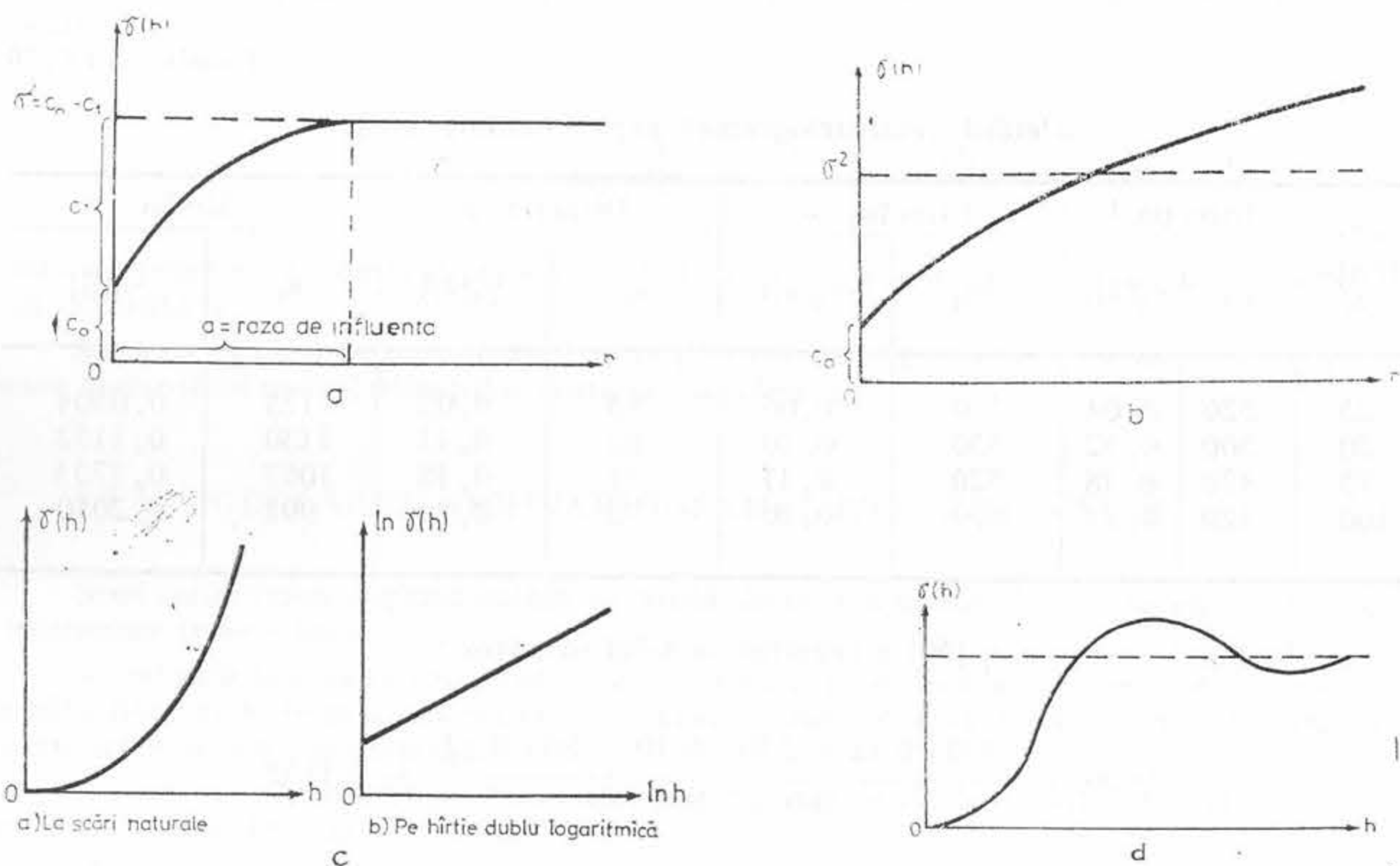


Fig. XIV.16. Modele de semivariogramă teoretică :

a — model sferic; b — model logaritmic; c — model parabolic; d — model sinusoidal.

al cărui grafic diferă de cel al modelului sferic doar prin faptul că curba $\gamma(h)$ atinge asimptotic plafonul σ^2 .

Un model extrem este cel *aleator*, când, de la început, semivariograma oscilează în jurul plafonului, deci are expresia analitică :

$$\gamma(h) = \sigma^2$$

Modelul aleator poate apare doar în cazul unor zăcămintele cu o distribuție pur aleatoare a componentelor utili, cum ar fi unele zăcămintele cu aur nativ. În asemenea situații, și numai în acestea, geostatistica conduce la aceleași rezultate ca și metodele statistice-matematice. Întrucât lipsește complet corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, nu se pot calcula conținuturi medii pe unități de calcul, ci doar pe total corp de substanță minerală utilă.

Modele fără plafon. Sînt cele în care semivariograma crește mereu, depășind plafonul σ^2 . În asemenea cazuri se adoptă unul din următoarele modele :

Modelul De Wijs (logaritmice) are expresia analitică :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \ln h \quad (h \geq 1)$$

Acest model poate fi recunoscut după faptul că pe hîrtie semilogaritmice $[\ln h; \gamma(h)]$ punctele semivariogrammei experimentale se distribuie aproximativ pe o linie dreaptă.

Grafic, acest model apare ca în fig. XIV.16, b.

Modelul liniar în care punctele semivariogrammei experimentale sînt aproximativ pe o dreaptă în sistemul de axe $[h, \gamma(h)]$ și are expresia analitică :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 h$$

Cu titlu informativ se mai prezintă două modele, cu aplicații foarte rare.

Modelul parabolic, cînd pe hîrtie dublu logaritmice semivariograma teoretică devine o linie dreaptă. Expresia sa analitică este :

$$\gamma(h) = ah^b$$

cu graficul din figura XIV.16, c.

Modelul sinusoidal, cu expresia analitică :

$$\gamma(h) = C \left(1 - \frac{\sin ah}{ah} \right)$$

avînd graficul din figura XIV.16, d.

Cazurile în care semivariograma teoretică poate fi exprimată cu ajutorul unui singur model din cele prezentate constituie *structurile simple*.

Uneori nici unul din modelele prezentate nu aproximează suficient de bine semivariograma experimentală, dar dacă se ia suma a două sau a mai multora din modelele descrise, se poate ajunge la o semivariogramă teoretică care trece foarte aproape de punctele semivariogrammei experimentale. În asemenea cazuri sîntem în prezența unor *structuri compuse*, a căror expresie analitică este de forma :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \gamma_1(h) + C_2 \gamma_2(h) + \dots$$

De exemplu, în cazul unei structuri compuse din două modele sferice, expresia analitică a semivariogrammei teoretice devine :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h}{a_1} - 0,5 \left(\frac{h}{a_1} \right)^3 \right] + C_2 \left[1,5 \frac{h}{a_2} - 0,5 \left(\frac{h}{a_2} \right)^3 \right] & \text{pentru } h < a_1 \\ C_0 + C_1 + C_2 \left[1,5 \frac{h}{a_2} - 0,5 \left(\frac{h}{a_2} \right)^3 \right] & \text{pentru } a_1 \leq h < a_2 \\ C_0 + C_1 + C_2 & \text{pentru } h \geq a_2 \end{cases}$$

5.2.4.2. Mineralizații anizotrope

Dacă în diferitele direcții semivariograma experimentală are valori semnificativ deosebite, spunem că variabila regionalizată este *anizotropă*. În asemenea cazuri se pune problema găsirii unui model teoretic care să permită calcularea valorilor semivariogramei în orice direcție. Se vor prezenta în continuare principalele două tipuri de anizotropie.

Anizotropia geometrică. În cazul izotrop, zona de influență a unei probe este un cerc în cazul bidimensional, respectiv o sferă în cel tridimensional.

Dacă printr-o transformare a axelor x, y, z în axele x', y', z' , definită prin relațiile :

$$x' = x$$

$$y' = k_y y$$

$$z' = k_z z$$

se ajunge la o semivariogramă izotropă, avem o *anizotropie geometrică*. În acest caz zona de influență a unei probe este o elipsă, respectiv un elipsoid de semiaxe a_x, a_y, a_z , care prin schimbarea de axe menționată se transformă într-o sferă de rază a_x .

Coefficienții k_y și k_z se numesc *rapoarte de anizotropie*; expresia lor diferă de la un model la altul.

Fiind dat un vector cu extremitățile în $M_1(x_1, y_1, z_1)$ și $M_2(x_2, y_2, z_2)$, mărimea sa h este dată de expresia :

$$h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2 + h_z^2}$$

unde h_x, h_y, h_z sînt proiecțiile vectorului \vec{h} pe direcțiile ox, oy și oz , adică :

$$h_x = y_2 - y_1$$

$$h_y = y_2 - y_1$$

$$h_z = z_2 - z_1$$

Prin schimbările de axe $x' = x; y' = k_y y$ și $z' = k_z z$, lungimea h se transformă în lungimea h' :

$$h' = \sqrt{h_x^2 + (k_y h_y)^2 + (k_z h_z)^2}$$

În vederea stabilirii unei expresii unice pentru semivariograma teoretică, valabilă în orice direcție, în cazul anizotropiei geometrice se pun următoarele probleme :

— stabilirea semivariogramei teoretice, separat pentru fiecare direcție : $\gamma_x(h)$, $\gamma_y(h)$ și $\gamma_z(h)$;

— verificarea condițiilor pentru anizotropia geometrică ;

— calcularea rapoartelor de anizotropie : k_y și k_z ;

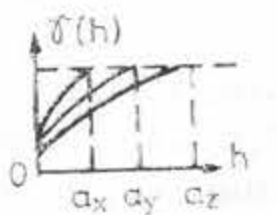
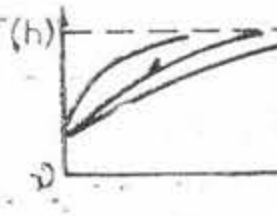

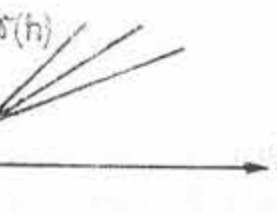
— scrierea expresiei analitice a semivariogramei teoretice, valabilă în orice direcție

Semivariograma teoretică pentru fiecare direcție în parte se obține la fel ca în cazul izotrop. Din tabelul XIV.20 rezultă modul de rezolvare a celorlalte trei probleme.

Anizotropia zonală este urmare așa-numitului *efect de stratificație* și constă în faptul că în secțiuni plane (de regulă orizontale) semivariograma este izotropă, eventual prezintă o anizotropie geometrică, iar pe direcția perpendiculară pe aceste plane (deci, de regulă, după verticală) semivariograma are valori mai mari.

Tabelul XIV.20

Criterii de recunoaștere și modul de tratare a anizotropiei geometrice

Modelul în fiecare direcție	Condițiile anizotropiei geometrice	Rapoartele de anizotropie		Expresia analitică a modelului, valabilă în orice direcție	Graficul modelelor în cele trei direcții
		k_y	k_z		
Sferic (Mathe-ron)	$C_{0x}=C_{0y}=C_{0z}$ $C_{1x}=C_{1y}=C_{1z}$	$\frac{a_x}{a_y}$	$\frac{a_x}{a_z}$	$C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h'}{a_x} - 0,5 \left(\frac{h'}{a_x} \right)^3 \right]$ dacă $h' < a_x$ $C_0 + C_1$ dacă $h' \geq a_x$	
Exponential	Idem	Idem	Idem	$C_0 + C_1(1 - e^{-\frac{h'}{a_x}})$	
Logaritmic (De Wijs)	$C_{1x}=C_{1y}=C_{1z}$	$\frac{C_{0y}-C_{0x}}{C_1}$	$\frac{C_{0z}-C_{0x}}{C_1}$	$C_{0x} + C_1 \ln h'$	
Liniar	$C_{0x}=C_{0y}=C_{0z}$	$\frac{C_{1y}}{C_{1x}}$	$\frac{C_{1z}}{C_{1x}}$	$C_0 + C_{1x} h'$	

În toate cazurile, $h' = \sqrt{h_x^2 + (k_y h_y)^2 + (k_z h_z)^2}$

Fie $\gamma_{xy}(h)$ semivariograma experimentală în secțiuni orizontale și $\gamma_z(h)$ valorile ei pe verticală. Se consideră că $\gamma_z(h)$ este semivariograma globală, compusă din componenta izotropă $\gamma_{xy}(h)$ și o componentă zonală $\gamma_{zon}(h_z)$, care nu are influență în secțiuni orizontale. În aceste condiții, pentru stabilirea semivariogramei $\gamma(h)$, valabilă în orice direcție, se procedează astfel:

— se determină modelul teoretic al semivariogramei experimentale, calculată după diferite direcții din secțiuni orizontale, pe care îl notăm cu $\gamma_{izo}(h)$. (Se reamintește că $\gamma_{izo}(h_z)$ poate reprezenta și o semivariogramă cu anizotropie geometrică);

— se calculează diferențele valorilor experimentale $\gamma_z(h) - \gamma_{xy}(h)$; aceste diferențe se consideră valorile experimentale ale unei semivariograme; se determină modelul diferențelor, $\gamma_{zon}(h_z)$;

— modelul teoretic căutat, valabil pentru orice direcție, este:

$$\gamma(h) = \gamma_{izo}(h) + \gamma_{zon}(h_z)$$

Se subliniază faptul că în timp ce componenta izotropă depinde de lungimea vectorului h , componenta zonală depinde doar de proiecția h_z a acestui vector pe direcția oz .

După alegerea modelului semivariogramei teoretice, trebuie determinate valorile numerice ale parametrilor care intervin în expresia lui. De observat că unii parametri sînt liniari (ex.: C_0 și C_1), iar alții sînt neliniari (ex.: a în modelul sferic și exponențial). Există o serie de metode practice simple pentru determinarea acestor parametri. Cele mai bune rezultate se obțin utilizînd metoda celor mai mici patrate, folosînd calculatoarele electronice.

5.2.5. METODA KRIGE — DETERMINAREA ESTIMATORULUI OPTIM ȘI A VARIANȚEI ERORII DE ESTIMARE

Fie o unitate de calcul al rezervelor D (panou, bloc etc.), cercetată cu lucrările L_1, L_2, \dots, L_n , în care s-au determinat valorile v_1, v_2, \dots, v_n ale unei caracteristici (ex.: grosime, conținutul într-un component util etc.). Se pune problema determinării valorii medii \bar{v} a acestei caracteristici în unitatea de calcul D , pe baza datelor experimentale v_1, v_2, \dots, v_n . Orice metodă de estimare a rezervelor determină media \bar{v} ca o combinație liniară a valorilor experimentale v_i , sub forma:

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot v_i$$

unde λ_i sînt ponderi nenegative, îndeplinind condiția:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

pentru a exclude erorile sistematice în estimare. Fie v_0 media reală (care nu poate fi stabilită niciodată) a caracteristicii v în unitatea de calcul D . Există ∞^{n-1} seturi de n numere λ_i nenegative, cu suma = 1, deci cu aceleași date experimentale v_i se pot obține pe o unitate de calcul ∞^{n-1} medii, în general diferite între ele. Media reală este însă una singură, v_0 . Diferitele medii prezintă deci diferențe deosebite față de media reală, deci erori de estimare diferite. Din toate seturile posibile de ponderi λ_i geostatistica alege unul singur

acela care face minimă varianța erorii de estimare. Spre deosebire de oricare alt estimator, media obținută prin metoda geostatistică poartă numele de *estimator Krige*, iar varianța erorii de estimare corespunzătoare, *varianța erorii Krige*, acestea notîndu-se cu σ_k , respectiv σ_k^2 . Prin urmare, geostatistica determină valoarea medie prin relația:

$$v_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot v_i$$

ponderile λ_i determinîndu-se astfel ca să fie îndeplinite condițiile:

$$\begin{cases} \sigma_k^2 = \text{minim} \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases}$$

Impunînd aceste condiții, ponderile λ_i sînt soluțiile următorului sistem, numit *sistemul lui Krige*:

$$\begin{cases} \gamma_{11}\lambda_1 + \gamma_{12}\lambda_2 + \dots + \gamma_{1n}\lambda_n + \mu = \gamma_{1D} \\ \gamma_{21}\lambda_1 + \gamma_{22}\lambda_2 + \dots + \gamma_{2n}\lambda_n + \mu = \gamma_{2D} \\ \dots \\ \gamma_{n1}\lambda_1 + \gamma_{n2}\lambda_2 + \dots + \gamma_{nn}\lambda_n + \mu = \gamma_{nD} \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1 \end{cases}$$

unde: μ este multiplicator Lagrange;

γ_{ij} — valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea vectorului \bar{h} descrie lucrarea L_i , iar extremitatea lui lucrarea L_j ; evident, $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$;

γ_{iD} — valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea vectorului \bar{h} descrie lucrarea L_i , iar extremitatea lui unitatea de calcul D .

După rezolvarea sistemului lui Krige, varianța erorii de estimare se calculează cu ajutorul relației:

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \gamma_{iD} + \mu - \gamma_{DD}$$

în care γ_{DD} reprezintă valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea și extremitatea vectorului \bar{h} descriu, independent una de alta, domeniul D .

5.2.6. INTERVALUL DE ÎNCREDERE AL CANTITĂȚII ȘI CALITĂȚII REZERVELOR. GRADUL DE PRECIZIE AL VALORILOR ESTIMATE

Prin lucrările de cercetare geologică executate, caracteristicile zăcămintelor (grosime, conținut, greutate volumetrică etc.) se determină într-un număr limitat de puncte, apoi aceste valori se extind asupra unităților de calcul (panouri, blocuri). Datorită acestui fapt, indiferent de metoda de calcul folosită, rezervele estimate nu coincid niciodată cu

cele reale, adică ele sînt afectate de erori. Notînd cu v_k valoarea estimată a unei caracteristici și cu v_0 valoarea sa reală, eroarea de estimare absolută este :

$$e = v_k - v_0$$

Eroarea de estimare nu poate fi determinată niciodată, ci doar varianța ei, σ_k^2 . Se admite că eroarea de estimare are o distribuție normală (Gauss-Laplace). În aceste condiții, se poate afirma că există o probabilitate P ca eroarea de estimare să fie cuprinsă în intervalul $(-t \sigma_k, t \sigma_k)$, unde $\sigma_k = \sqrt{\sigma_k^2}$ se numește *eroare standard*, iar t este valoarea parametrului din funcția corespunzătoare distribuției normale :

$$2P(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

Se dau valorile lui t pentru diferite probabilități $P(t)$:

$P(t)$ [%]	t
70	1,036
80	1,282
90	1,645
95	1,960

Definim *gradul de precizie* al estimării unei caracteristici v , valoarea minimă pe care se poate conta cu o probabilitate P , exprimată în procente față de valoarea medie v_z a caracteristicii pe domeniul geometric în care s-a determinat semivariograma (întregul zăcămint sau un corp de substanță minerală utilă) :

$$p = 100 \left(1 - \frac{t \sigma_k}{v_z} \right)$$

Intervalul $\left(\frac{p}{100} v_k, \frac{200-p}{100} v_k \right)$ se numește *interval de încredere*. Sensul practic al intervalului de încredere este următorul : există o probabilitate P % ca media reală v_0 să fie cuprinsă în intervalul respectiv.

Prin metoda Krige se obține varianța erorii de estimare a grosimii medii (la zăcămintele tabulare) și a conținuturilor medii, pe unități de calcul.

Ținînd seama de faptul că cantitatea de rezerve este produsul dintre suprafață, grosime și masa volumetrică ($R = S \cdot g \cdot \gamma$), varianța erorii de estimare a cantității de rezerve σ_R^2 rezultă din relația :

$$\frac{\sigma_R^2}{R^2} = \frac{\sigma_S^2}{S^2} + \frac{\sigma_g^2}{g^2} + \frac{\sigma_\gamma^2}{\gamma^2}$$

Cunoscînd varianța erorii de estimare a cantității de rezerve (σ_R^2) și a conținutului mediu (σ_c^2), varianța erorii de estimare a cantității de metal σ_M^2 este :

$$\frac{\sigma_M^2}{M^2} = \frac{\sigma_R^2}{R^2} + \frac{\sigma_c^2}{\bar{c}^2}$$

Fie n unități de calcul pentru care s-au stabilit cantitățile de rezerve R_1, R_2, \dots, R_n și conținuturile medii c_1, c_2, \dots, c_n , cu varianțele erorilor de estimare $\sigma_{R_i}^2$ respectiv $\sigma_{c_i}^2$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Cumulînd aceste rezerve se obțin :

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i c_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

Varianța erorii de estimare a cantității și calității rezervelor cumulate este :

$$\sigma_R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 \sigma_{R_i}^2}{(R_1 + R_2 + \dots + R_n)^2} ; \quad \sigma_c^2 = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 \sigma_{c_i}^2}{(R_1 + R_2 + \dots + R_n)^2}$$

XV. TOPOGRAFIE MINIERĂ ȘI FOTOGRAMMETRIE

Prof. dr. ing. NICOLAE DIMA

Șef lucrări dr. ing. IONIȚĂ PĂDURE

Șef lucrări ing. STANCA NICULESCU

Topografia se ocupă cu reprezentarea pe o suprafață plană a unei porțiuni de teren în scopul realizării și rezolvării în bune condițiuni a multiplelor probleme de organizare a teritoriului, de construcții industriale și civile, hidrotehnice, căi de comunicație, miniere etc.

Reprezentarea trebuie să asigure obținerea unei imagini clare a terenului, spre a fi precis cunoscut ca mărime, conținut și formă în expresia lor geografică.

La baza reprezentărilor stau măsurătorile topografice care se efectuează în teren asupra elementelor ce trebuie să fie reprezentate și care formează așa-numitele *detalii topografice*.

Detaliile topografice pot fi naturale (munți, dealuri, cursuri de apă, povirnișuri, limite naturale etc.) sau artificiale (construcții la suprafață sau subterane, orice delimitare realizată de om).

Măsurătorile topografice prelucrate după anumite metode conduc la rezultate care transpuse pe planul de reprezentare conturează grafic porțiunea de traseu cu toate detaliile ce le conține.

Ansamblul de operații care cuprind măsurătorile topografice, calculul și raportarea pe plan poartă denumirea de *ridicare topografică*. Rezultatul concret al unei ridicări topografice este *planul topografic* sau *harta topografică*.

Planurile și hărțile topografice sînt documente nelipsite în probleme de studii și organizări de teritoriu, în probleme de studii și analize geografice și geologice, în probleme de proiectare de construcții din cele mai diferite domenii etc.

Proiectele de construcții realizate pe baza planurilor topografice urmează a fi transpuse (aplicate) în teren cu toate detaliile de construcție ale acestora.

Aplicarea în teren a proiectelor este realizabilă tot cu ajutorul unui ansamblu de operații topografice denumite *operații topografice de trasare*.

Așadar topografia rezolvă două mari și importante probleme — *ridicarea terenurilor* și *aplicarea în teren a proiectelor (trasarea)*.

Cu cît topografia va rezolva mai bine aceste două teme, ridicarea și trasarea, cu atît va atinge mai bine scopul.

Punerea în valoare a zăcămintelor de substanțe minerale utile prin exploatări miniere subterane și exploatări miniere la zi implică cunoștințe de topografie în general și de topografie minieră în special, aceasta din urmă rezolvînd problemele de ridicare și trasare precizate mai sus și, evident, cu multiple particularități.

Gama largă a problemelor specifice topografiei miniere se referă la două genuri de activități principale: *de concepție* (proiectare, sistematizare, prognoze, metode și procedee moderne de preluare și prelucrare a informațiilor etc.) și *de execuție* (redactări de planuri topografice, trasarea și urmărirea în timp a construcțiilor miniere, evidența producției etc.).

Problemele cu care viitorul specialist se confruntă în activitatea practică, de proiectare, de cercetare, de conducere și direcționare a lucrărilor miniere de deschidere, înaintare, pregătire și exploatare a zăcămintelor de substanțe minerale utile, implică cunoș-

tințe bine fundamentate privind metodologiile de prelucrare a datelor, de întocmire și redactare a hărților și planurilor topografice, de orientare a rețelelor geodezice de sprijin de amplasare a obiectivelor industriale și miniere, de urmărire a stabilității acestora, a suprafețelor agricole și forestiere, de dimensionare a pilierilor de siguranță etc.

De asemenea, se impune cunoașterea problemelor noi care privesc rezolvarea, în corelare cu geologia, a modului de distribuție spațială a mineralizației în zăcămint, utilizarea fotogrammetriei, fotointerpretării și teledetecției în determinarea și controlul unor mărimi și fenomene foarte importante domeniului minier de activitate etc.

Volumul mare de informații impune prelucrarea automată a datelor, deci cunoștințe fundamentale și de specialitate temeinice în acest scop.

1. TEORIA ERORILOR DE MĂSURARE

Dacă o mărime se măsoară de mai multe ori, de fiecare dată se obține o altă valoare, chiar dacă măsurătorile se efectuează în aceleași condiții și cu instrumente de mare precizie.

Cauza acestei nepotriviri de valori se datorește erorilor care afectează întotdeauna o măsurătoare, făcînd ca valoarea adevărată a mărimii măsurate să nu poată fi cunoscută niciodată.

Practic, neputînd fi determinată valoarea adevărată a mărimii măsurate, se caută o valoare apropiată de cea adevărată, într-un grad mai mare sau mai mic, funcție de scopul pentru care se execută măsurătorile.

Apropierea mărimii determinate față de valoarea adevărată a acesteia caracterizează *precizia determinării*.

Prelucrarea măsurătorilor efectuate asupra unei mărimi urmărește obținerea celei mai bune valori ale acesteia și a diferenței maxime posibile între valoarea determinată și valoarea adevărată.

1.1. CLASIFICAREA MĂSURĂTORILOR

Măsurătorile, ale căror erori constituie obiectul de studiu al prezentei teorii, diferă după modul lor de prezentare și în raport cu condițiile în care sînt executate.

Astfel, după modul lor de prezentare sînt grupate în măsurători *directe*, măsurători *indirecte* și măsurători *directe cu condiții (condiționate)*.

După condițiile în care sînt executate, măsurătorile pot fi de aceeași precizie și de precizii diferite.

a) *Măsurătorile directe* se caracterizează prin aceea că observațiile sînt efectuate cu instrumentul direct asupra mărimii care se măsoară.

b) *Măsurătorile indirecte* se caracterizează prin aceea că observațiile sînt efectuate cu instrumentul asupra altor mărimi, urmînd ca mărimile care interesează să se obțină indirect prin calcul.

c) *Măsurătorile condiționate* se caracterizează prin aceea că mărimile sînt rezultatul direct al observațiilor ce se efectuează, însă acestea trebuie să îndeplinească anumite restricții.

d) *Măsurători de aceeași precizie* sint măsurătorile efectuate cu același instrument și în aceleași condiții, ceea ce înseamnă că observațiile pot fi considerate cu același grad de încredere.

e) *Măsurători de precizii diferite* sint măsurătorile efectuate în condiții diferite, metode diferite de lucru sau cu instrumente diferite.

1.2. MĂSURĂTORI DIRECTE DE ACEEAȘI PRECIZIE

Considerăm că asupra unei mărimi sint efectuate observațiile O_1, O_2, \dots, O_n . Valoarea cea mai probabilă M a mărimii măsurate este dată de media aritmetică a observațiilor, respectiv :

$$M = \frac{O_1 + O_2 + O_3 + \dots + O_n}{n} = \frac{[O]}{n} \quad (1.1)$$

Față de valoarea probabilă, valoarea cea mai bună, se definesc erorile aparente V_1, V_2, \dots, V_n , ca fiind :

$$V_i = O_i - M \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.2)$$

Față de valoarea adevărată a mărimii măsurate X se definesc erorile reale $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$, ca fiind :

$$\varepsilon_i = O_i - M \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.3)$$

Funcție de erorile reale, se definește eroarea medie pătratică a unei singure măsurători m_0 cu relația :

$$m_0^2 = \frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n} \quad (1.4)$$

Se poate arăta egalitatea :

$$\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n} = \frac{[VV]}{n-1}$$

Deci :

$$m_0^2 = \frac{[VV]}{n-1}$$

Sau :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (1.5)$$

Se notează cu m eroarea medie pătratică a mediei aritmetice, iar valoarea acesteia se obține cu relația :

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{n}} \quad (1.6)$$

Rezultatul măsurătorilor se prezintă :

$$X = M \pm m \quad (1.7)$$

Dacă sint măsurate direct și cu aceeași precizie mai multe mărimi independente l_1, l_2, \dots, l_n , pentru a determina eroarea unei funcții :

$$x = f(l_1, l_2, \dots, l_n) \quad (1.8)$$

de mărimile măsurate, se folosește relația :

$$m_x = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial f}{\partial l}\right)^2 m^2\right]} \quad (1.9)$$

1.3. MĂSURĂTORI DIRECTE DE PRECIZII DIFERITE

Se consideră că asupra unei mărimi sint efectuate observațiile O_1, O_2, \dots, O_n cu precizii diferite, deci au erorile $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$.

Valoarea probabilă M a mărimii măsurate este dată de o medie aritmetică ponderată, respectiv :

$$M = \frac{p_1 O_1 + p_2 O_2 + \dots + p_n O_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[pO]}{[p]} \quad (1.10)$$

unde :

$$p_i = \left(\frac{m_0}{m_i}\right)^2 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.11)$$

reprezintă ponderile mărimilor măsurate, m_0 fiind eroarea medie pătratică a unității de pondere.

Cum m_0 nu influențează valoarea mediei aritmetice, rezultă că ponderile pot fi calculate și cu relația :

$$p_i = \frac{1}{m_i^2} \quad (1.12)$$

Erorile aparente se definesc, ca și în cazul măsurătorilor directe, de aceeași precizie, cu care se obțin :

— eroarea medie pătratică a unității de pondere

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pVV]}{n-1}} \quad (1.13)$$

— eroarea medie pătratică a mediei aritmetice ponderate

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{[p]}} \quad (1.14)$$

În cazul funcțiilor de mărimi măsurate direct și de precizii diferite, de forma (1.8), se stabilește ponderea funcției, folosind :

$$\frac{1}{p_x} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial l}\right)^2 \frac{1}{p}\right] \quad (1.15)$$

1.4. MĂSURĂTORI INDIRECTE DE ACEEAȘI PRECIZIE

Cazul general al măsurătorilor indirecte se prezintă printr-un sistem de funcții de legătură neliniare între mărimile măsurate și mărimile necunoscute de forma :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_k) &= l'_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_k) &= l'_2 \\ &\dots\dots\dots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_k) &= l'_n \end{aligned} \quad (1.16)$$

unde :

x_1, x_2, \dots, x_k sînt necunoscutele ;

l'_1, l'_2, \dots, l'_n sînt mărimile măsurate considerate fără eror

Se notează cu $l_1^0, l_2^0, \dots, l_k^0$ mărimile măsurate și eronate, cum dealtfel există practic, și se obține :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_k) - l_1^0 &= V_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_k) - l_2^0 &= V_2 \\ &\dots\dots\dots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_k) - l_n^0 &= V_n \end{aligned} \quad (1.17)$$

Sistemul (1.17) conține atîtea ecuații cîte mărimi măsurate există, iar numărul lor depășește cu mult numărul necunoscutelor, adică :

$$n > k$$

Pentru liniarizarea funcțiilor (1.17) se notează cu $x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0$ valorile aproximative ale necunoscutelor. Aceste valori se pot obține simplu dacă se rezolvă primele k

Schema de calcul

Nr. crt.	a	b	c	l	s	aa	ab	ac	al
1	a_1	b_1	c_1	l_1	s_1	$a_1 a_1$	$a_1 b_1$	$a_1 c_1$	$a_1 l_1$
2	a_2	b_2	c_2	l_2	s_2	$a_2 a_2$	$a_2 b_2$	$a_2 c_2$	$a_2 l_2$
3	a_3	b_3	c_3	l_3	s_3	$a_3 a_3$	$a_3 b_3$	$a_3 c_3$	$a_3 l_3$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
n	a_n	b_n	c_n	l_n	s_n	$a_n a_n$	$a_n b_n$	$a_n c_n$	$a_n l_n$
	[a]	[b]	[c]	[l]	[s]	[aa]	[ab]	[ac]	[al]

ecuații din sistemul (1.16). Fie $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_k$ creșterile valorilor aproximative, cu care pot fi scrise egalitățile :

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1^0 + \Delta x_1 \\ x_2 &= x_2^0 + \Delta x_2 \\ &\dots\dots\dots \\ x_k &= x_k^0 + \Delta x_k \end{aligned} \quad (1.18)$$

Introducînd egalitățile (1.18) în (1.17) și dezvoltînd în serie Taylor se obține :

$$\begin{aligned} a_1 \Delta x_1 + b_1 \Delta x_2 + \dots + k_1 \Delta x_k + l_1 &= V_1 \\ a_2 \Delta x_1 + b_2 \Delta x_2 + \dots + k_2 \Delta x_k + l_2 &= V_2 \\ &\dots\dots\dots \\ a_n \Delta x_1 + b_n \Delta x_2 + \dots + k_n \Delta x_k + l_n &= V_n \end{aligned} \quad (1.19)$$

Sistemul (1.19) reprezintă forma generală de definire a măsurătorilor indirecte și poartă numele de *sistemul ecuațiilor de erori*.

Se consideră un sistem de ecuații de erori format din n ecuații cu trei necunoscute :

$$a_i x + b_i y + c_i z + l_i = V_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1.20)$$

Dacă erorile mărimilor măsurate sînt aceleași, măsurătorile sînt de aceeași precizie. Aplicînd sistemului (1.20) condiția :

$$[V \ V] = \text{minim},$$

se obține sistemul ecuațiilor normale

$$\begin{aligned} [a \ a] x + [a \ b] y + [a \ c] z + [a \ l] &= 0 \\ [a \ b] x + [b \ b] y + [b \ c] z + [b \ l] &= 0 \\ [a \ c] x + [b \ c] y + [c \ c] z + [c \ l] &= 0 \end{aligned} \quad (1.21)$$

Pentru calculul coeficienților necunoscutelor și al termenilor liberi se folosește schema XV.1.

Schema XV.1

a coeficienților

as	bb	bc	bl	bs	cc	cl	cs	ll	ls	ss
$a_1 s_1$	$b_1 b_1$	$b_1 c_1$	$b_1 l_1$	$b_1 s_1$	$c_1 c_1$	$c_1 l_1$	$c_1 s_1$	$l_1 l_1$	$l_1 s_1$	$s_1 s_1$
$a_2 s_2$	$b_2 b_2$	$b_2 c_2$	$b_2 l_2$	$b_2 s_2$	$c_2 c_2$	$c_2 l_2$	$c_2 s_2$	$l_2 l_2$	$l_2 s_2$	$s_2 s_2$
$a_3 s_3$	$b_3 b_3$	$b_3 c_3$	$b_3 l_3$	$b_3 s_3$	$c_3 c_3$	$c_3 l_3$	$c_3 s_3$	$l_3 l_3$	$l_3 s_3$	$s_3 s_3$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$a_n s_n$	$b_n b_n$	$b_n c_n$	$b_n l_n$	$b_n s_n$	$c_n c_n$	$c_n l_n$	$c_n s_n$	$l_n l_n$	$l_n s_n$	$s_n s_n$
[as]	[bb]	[bc]	[bl]	[bs]	[cc]	[cl]	[cs]	[ll]	[ls]	[ss]

Schema reducerii succesive

	[a]	[b]	[c]	[l]	[s]	Rîndul	Explicații
a]	[aa]	[ab]	[ac]	[al]	[as]	1	În rîndul 1 figurează coeficienții și termenul liber din prima ecuație normală.
	-1	$-\frac{[ab]}{[aa]}$	$-\frac{[ac]}{[aa]}$	$-\frac{[al]}{[aa]}$	$-\frac{[as]}{[aa]}$	2	Elementele din rîndul 2 se obțin prin împărțirea elementelor din rîndul 1 la primul și schimbînd semnul (se scriu în roșu).
b]	x = ...	[bb]	[bc]	[bl]	[bs]	3	În rîndul 3 figurează coeficienții și termenul liber din ecuația a doua normală.
	$-\frac{[ab][ba]}{[aa]}$	$-\frac{[ab][ac]}{[aa]}$	$-\frac{[ab][al]}{[aa]}$	$-\frac{[ab][as]}{[aa]}$	$-\frac{[bs]}{[aa]}$	4	Rîndul 4 se completează înmulțind elementele din rîndul 2 (scris în roșu) cu elementul de deasupra lui și din coloana lui [bb].
	[bb.1]	[bc.1]	[bl.1]	[bs.1]	[bs.1]	5	Se adună pe coloană elementele din rîndurile 3 și 4 și analog în continuare.
	-1	$-\frac{[bc.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bl.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	6	Se împart elementele din rîndul 5 la primul și se schimbă semnul (se scriu în roșu).
c]	y = ...	[cc]	[cl]	[cs]	[cs]	7	Coefficienții și termenul liber din a treia ecuație normală.
	$-\frac{[ac][bc]}{[aa]}$	$-\frac{[ac][bl]}{[aa]}$	$-\frac{[ac][bs]}{[aa]}$	$-\frac{[ac][as]}{[aa]}$	$-\frac{[cs]}{[aa]}$	8	Se înmulțesc elementele din rîndul 2 cu cel de deasupra lui și situat pe coloana lui [cc].
	$-\frac{[bc.1][bc.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bc.1][bl.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bc.1][bs.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bc.1][bs.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	9	Se înmulțesc elementele din rîndul 6 cu cel de deasupra lui și situat pe coloana lui [cc].
	[cc.2]	[cl.2]	[cs.2]	[cs.2]	[cs.2]	10	Se adună pe coloană elementele din rîndurile 7, 8, și 9.
	-1	$-\frac{[cl.2]}{[cc.2]}$	$-\frac{[cs.2]}{[cc.2]}$	$-\frac{[cs.2]}{[cc.2]}$	$-\frac{[cs.2]}{[cc.2]}$	11	Se împart elementele din rîndul 10 la primul și se schimbă semnul (se scriu în roșu).

La întocmirea schemei se va avea în vedere următoarele relații de control:

$$\begin{aligned}
 [a] + [b] + [c] + [l] &= [s] \\
 [aa] + [ab] + [ac] + [al] &= [as] \\
 [ab] + [bb] + [bc] + [bl] &= [bs] \\
 [ac] + [bc] + [cc] + [cl] &= [cs] \\
 [al] + [bl] + [cl] + [ll] &= [sl] \\
 [as] + [bs] + [cs] + [ls] &= [ss]
 \end{aligned} \quad (1.22)$$

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații normale se utilizează metoda reducerii succesive, algoritmi de calcul rezultînd din schema XV.2.

La întocmirea schemei se au în vedere următoarele relații de control:

$$\begin{aligned}
 [bb.1] + [bc.1] + [bl.1] &= [bs.1] \\
 [cc.2] + [cl.2] &= [cs.2]
 \end{aligned} \quad (1.23)$$

Necunoscutele se obțin în ordine:

$$\begin{aligned}
 z &= -\frac{[cl.2]}{[cc.2]} \\
 y &= -\frac{[bc.1]}{[bb.1]}z - \frac{[bl.1]}{[bb.1]} \\
 x &= -\frac{[ab]}{[aa]}y - \frac{[ac]}{[aa]}z - \frac{[al]}{[aa]}
 \end{aligned} \quad (1.24)$$

Pentru a stabili erorile m_x , m_y , m_z ale valorilor probabile x , y , z , se calculează mai întîi eroarea medie pătratică a unei singure observații cu relația:

$$m_v = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-k}} \quad (1.25)$$

în care:

$-[VV] = [ll.2]$ și se calculează prin dezvoltarea în partea inferioară a schemei de reducere; n este numărul de ecuații; k este numărul de necunoscute.

Cu valoarea obținută cu (1.25) se obține în continuare:

$$m_x = \pm m_0 \sqrt{Q_{xx}}; \quad m_y = \pm m_0 \sqrt{Q_{yy}}; \quad m_z = \pm m_0 \sqrt{Q_{zz}} \quad (1.26)$$

Q_{xx} , Q_{yy} , Q_{zz} sînt coeficienții de pondere care se calculează în coloane adăugate la schema de reducere.

În cazul unei funcții de mărimi măsurate indirect de forma:

$$F = A_1x + A_2y + A_3z \quad (1.27)$$

eroarea este dată de relația :

$$m_F = \pm m_0 \sqrt{Q_{FF}} \quad (1.28)$$

Coeficientul de pondere Q_{FF} se obține similar cu cei din (1.26).

1.5. MĂSURĂTORI INDIRECTE DE PRECIZII DIFERITE

Caracteristic în această categorie de măsurători este că ele au erori diferite, deci ecuațiilor din sistemul de erori (1.20) le corespund ponderile p_i .

Condiția de minim aplicată sistemului este $[p VV] = \text{minim}$, în baza căreia sistemul de ecuații normale are forma :

$$\begin{aligned} [p aa] x + [p ab] y + [p ac] z + [p al] &= 0 \\ [p bb] y + [p bc] z + [p bl] &= 0 \\ [p cc] z + [p cl] &= 0 \end{aligned} \quad (1.29)$$

Rezolvarea sistemului (1.29) și calculul preciziilor au loc ca și în cazul măsurătorilor indirecte de aceeași precizie.

1.6. MĂSURĂTORI CONDIȚIONATE DE ACEEAȘI PRECIZIE

În general, măsurătorile directe cu condiții conduc la un sistem de ecuații liniare în care numărul necunoscutelor este mai mare decât numărul ecuațiilor.

Forma unui astfel de sistem este :

$$\begin{aligned} a_1 V_1 + a_2 V_2 + \dots + a_n V_n + \omega_1 &= 0 \\ b_1 V_1 + b_2 V_2 + \dots + b_n V_n + \omega_2 &= 0 \\ \dots &\dots \\ r_1 V_1 + r_2 V_2 + \dots + r_n V_n + \omega_r &= 0 \end{aligned} \quad (1.30)$$

în care : V_1, V_2, \dots, V_n sînt corecțiile mărimilor măsurate direct.

Dacă precizia de măsurare nu diferă de la o mărime măsurată la alta, măsurătorile condiționate sînt de aceeași precizie, iar sistemul (1.30) se rezolvă în baza condiției $[VV] = \text{minim}$.

Se obține sistemul de ecuații normale :

$$\begin{aligned} [aa] k_1 + [ab] k_2 + \dots + [ar] k_r + \omega_1 &= 0 \\ \dots &\dots \\ [ar] k_1 + [br] k_2 + \dots + [rr] k_r + \omega_r &= 0 \end{aligned} \quad (1.31)$$

în care : k_1, k_2, \dots, k_r sînt valori intermediare de calcul (corelate) și cu care se determină corecțiile.

Relațiile de calcul ale corecțiilor au forma :

$$\begin{aligned} V_i &= a_i k_1 + b_i k_2 + \dots + r_i k_r \\ (i &= 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (1.32)$$

Calculul coeficienților din sistemul (1.31) și rezolvarea sistemului cu determinarea corelatelor se efectuează cu scheme analoage schemelor XV.1 și XV.2.

Pentru determinarea erorii medii pătratice a unei singure măsurători se utilizează relația :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{r}} \quad (1.33)$$

în care r este numărul ecuațiilor de condiție.

1.7. MĂSURĂTORI CONDIȚIONATE DE PRECIZII DIFERITE

Această categorie de măsurători se caracterizează prin aceea că mărimile măsurate direct și supuse la condiții au erori diferite și deci ponderi diferite.

Sistemul ecuațiilor de erori (1.30) ce corespunde măsurătorilor condiționate, în general, se rezolvă atașându-i condiția :

$$[p VV] = \text{minim}$$

Se obține :

$$\begin{aligned} \left[\frac{aa}{p} \right] k_1 + \left[\frac{ab}{p} \right] k_2 + \dots + \left[\frac{ar}{p} \right] k_r + \omega_1 &= 0 \\ \dots &\dots \\ \left[\frac{ar}{p} \right] k_1 + \left[\frac{br}{p} \right] k_2 + \dots + \left[\frac{rr}{p} \right] k_r + \omega_r &= 0 \end{aligned} \quad (1.34)$$

Cu valorile corelatelor din (1.34) se calculează corecțiile folosind relațiile :

$$\begin{aligned} V_i &= \frac{1}{p_i} (a_i k_1 + b_i k_2 + \dots + r_i k_r) \\ (i &= 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (1.35)$$

Eroarea medie pătratică a unei singure măsurători se stabilește cu relația :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[p VV]}{r}} \quad (1.36)$$

2. MĂSURAREA MĂRIMILOR TOPOGRAFICE

2.1. MĂSURAREA UNGHIURILOR

2.1.1. INSTRUMENTE DE MĂSURARE A UNGHIURILOR

Pentru măsurarea unghiurilor în geodezie și topografie se folosesc aparate numite *teodolite*. Cu ajutorul teodolitelor se pot măsura atât unghiuri orizontale cât și unghiuri verticale. Principiile constructive ale acestor aparate au la bază modul de definire a unghiurilor orizontale și verticale de diferite direcții din spațiu. Fie, în acest sens, punctul O din care se fac observații către punctele P_1 și P_2 (fig. XV.1). Normala punctului O , împreună cu punctul P_1 determină planul vertical V_1 , iar aceeași normală împreună cu punctul P_2 determină planul vertical V_2 . Evident, că linia de intersecție O_1O_2 a planelor verticale este însăși normala punctului O .

Unghiul orizontal α , determinat de direcțiile OP_1 și OP_2 , este unghiul diedru format de cele două plane verticale, sau unghiul format de proiecțiile direcțiilor (OP'_1 și OP'_2) pe planul orizontal H . Unghiurile verticale φ_1 și φ_2 ale celor două direcții sînt unghiurile pe care direcțiile le fac cu proiecțiile lor pe planul H . Complementele unghiurilor verticale sînt unghiurile zenitale și se notează cu Z_1 și Z_2 .

Așadar, orice teodolit prin construcție are posibilitatea materializării într-un punct O , a planului orizontal H , verticalei O_1O_2 , direcțiilor OP_1 și OP_2 ; de asemenea, are posibilitatea măsurării unghiurilor verticale și a unghiului orizontal.

Există o gamă foarte largă de tipuri de aparate construite de diferite firme și care au diferite caracteristici.

O frecventă utilizare la noi în țară o are teodolitul Zeiss Theo O-10. Este un aparat de precizie folosit pentru toate lucrările geodezo-topografice la care se admite o eroare medie pătratică de pînă la $\pm 4''$ pentru o direcție măsurată o singură dată în cele două poziții ale lunetei.

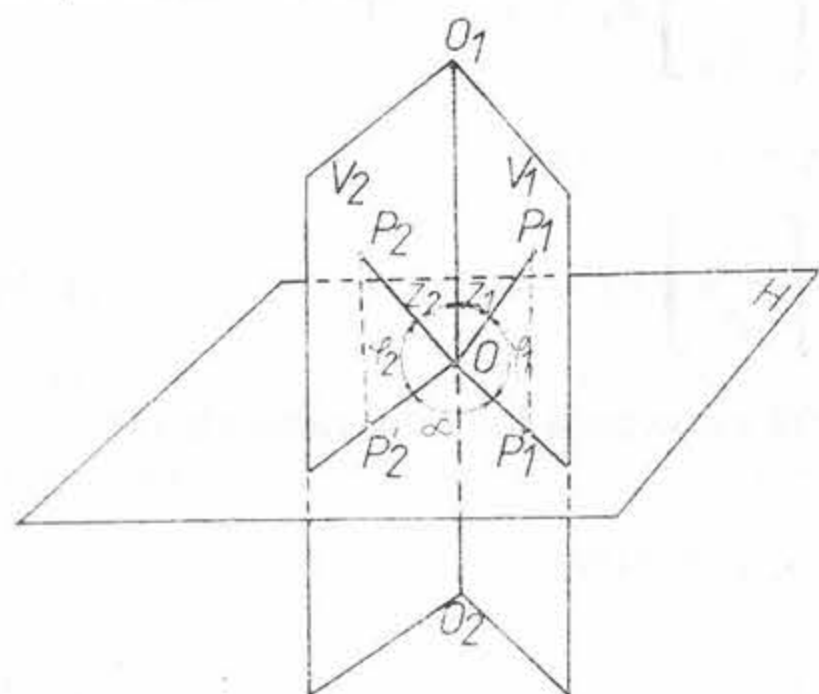


Fig. XV.1. Principiul măsurării unghiurilor orizontale și verticale.

Domeniul de utilizare este în triangulațiile de ordinul II-V, poligonații, lucrări de trasare în condiții de suprafață sau de subteran. Pentru efectuarea lecturilor la cercul orizontal și vertical se folosește un microscop cu micrometru optic.

Părțile componente ale aparatului (fig. XV.2) sînt: 1 — lunetă; 2 — clemă de blocare a mișcării lunetei; 3 — tamburul micrometrului optic; 4 — șurub micrometric

al mișcării lunetei; 5 — șurub micrometric al mișcării aparatului în jurul axului principal V-V; 6 — șurub de calare; 7 — placă de tensiune; 8 — placă de bază; 9 — șurub de fixare a aparatului în ambază; 10 — clemă de blocare a mișcării de rotație în jurul axului principal V-V; 11 — nivelă sferică; 12 — inversor de imagini; 13 — nivelă torică; 14 — ocularul microscopului de citire; 15 — ocularul lunetei; 16 — manșon de focusare; 17 — prismă de observare a nivelei cercului vertical; 18 — colimator; 19 — cercul orizontal; 20 — cercul vertical.

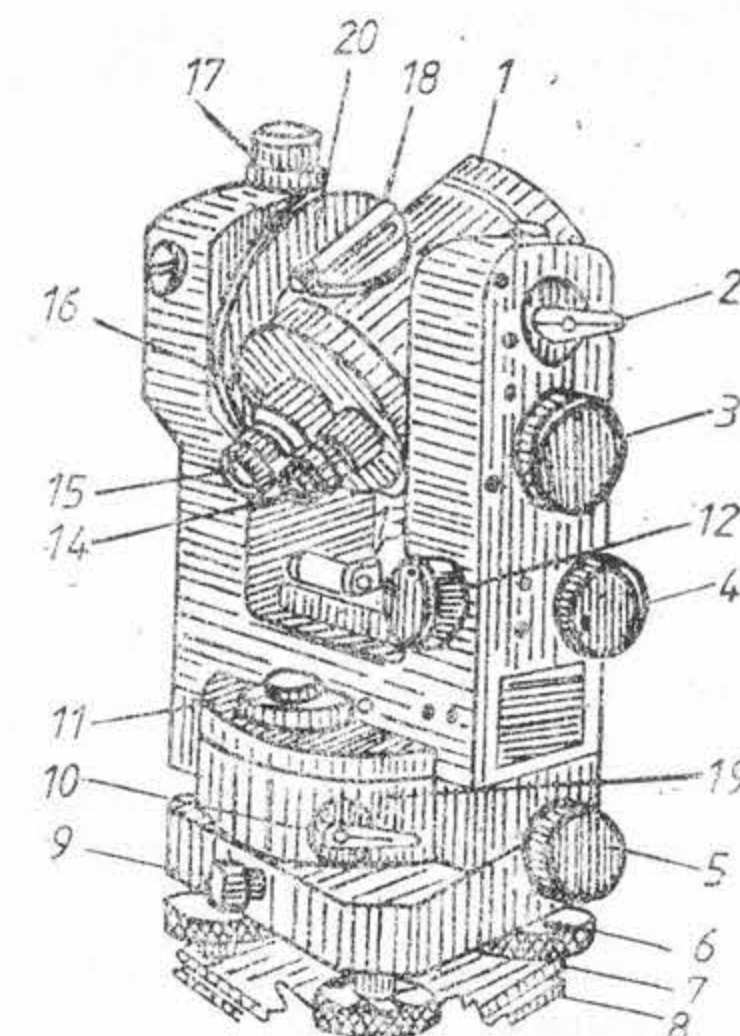


Fig. XV.2. Părțile componente ale unui teodolit.

2.1.2. METODE DE MĂSURARE A UNGHIURILOR ORIZONTALE

Metoda simplă. Pentru măsurarea unghiului α definit de direcțiile $O1$ și $O2$ (fig. XV.3) se staționează în punctul O , se vizează punctul 1 și se înregistrează lectura C_1 . Se rotește aparatul în sens topografic (sensul acelor de ceasornic) și se vizează punctul 2, înregistrându-se lectura C_2 . Aceste două lecturi se obțin în poziția I-ii a lunetei (cercul vertical în stînga).

În poziția II-a (cercul vertical în dreapta) se vizează punctul 2 și se înregistrează lectura C'_2 , se rotește aparatul în sens invers celui topografic, se vizează punctul 1 și se înregistrează lectura C'_1 .

Valoarea unghiului

$$\alpha = (C_2) - (C_1)$$

unde

$$(C_1) = \frac{C_1 + C'_1}{2} ; (C_2) = \frac{C_2 + C'_2}{2} \quad (2.1)$$

Metoda seriilor complete. Pentru măsurarea unghiurilor α , β , γ , δ se fac observații din punctul P pe direcțiile P_1 , P_2 , P_3 , P_4 care determină aceste unghiuri (fig. XV.4). Pe direcția P_1 se înregistrează lectura C_1 , iar prin rotirea aparatului în sens topografic lecturile C_2 , C_3 , C_4 pe direcțiile P_2 , P_3 , P_4 cu închidere pe direcția P_1 .

Cu mișcarea aparatului în sens invers și în a doua poziție a lunetei obținem lecturile în ordine \bar{C}'_1 , \bar{C}_4 , \bar{C}_3 , \bar{C}_2 și \bar{C}_1 .

Se stabilesc valorile probabile ale lecturilor pe direcții, efectuind media aritmetică a lecturilor astfel:

$$(C_1) = \frac{C_1 + \bar{C}_1}{2} ; (C_2) = \frac{C_2 + \bar{C}_2}{2} ; (C_3) = \frac{C_3 + \bar{C}_3}{2} ;$$

$$(C_4) = \frac{C_4 + \bar{C}_4}{2} ; (C'_1) = \frac{C'_1 + \bar{C}'_1}{2}$$

unde valoarea (C'_1) este utilizată pentru control.

Cu acestea se obțin :

$$\alpha = (C_2) - (C_1); \quad \beta = (C_3) - (C_2); \quad \gamma = (C_4) - (C_3); \quad \delta = (C_1) - (C_4) \quad (2.2)$$

Observațiile efectuate prin procedeul descris formează o serie de observații. În măsurătorile de precizie, în triangulații geodezice, metoda seriilor complete se aplică utilizând

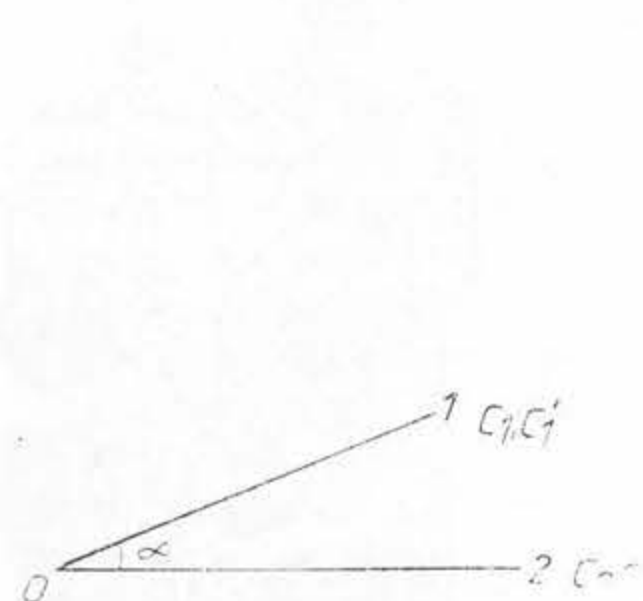


Fig. XV.3. Metoda simplă de măsurare a unui unghi.

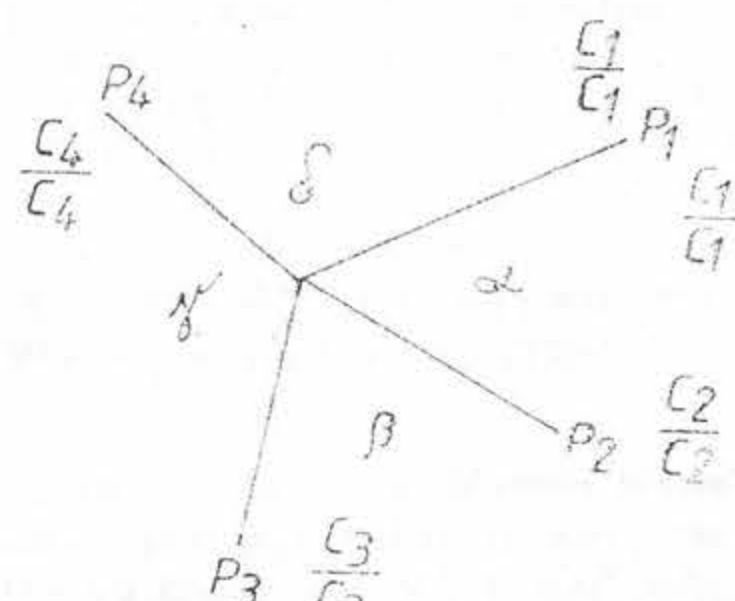


Fig. XV.4. Metoda seriilor complete de măsurare unghiurilor.

mai multe serii de observații (4, 6, 9), în fiecare serie considerând pentru direcția P_1 o altă valoare (origine).

2.1.3. MĂSURAREA UNGHIURILOR VERTICALE

Unghiurile verticale se obțin prin lecturi la cercul vertical. Lecturile se efectuează în cele două poziții ale lunetei, valoarea unghiului fiind media aritmetică a lecturilor.

Dacă lecturile sînt φ_1 și φ_2 se obține :

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \quad (2.3)$$

2.2. MĂSURAREA DIRECTĂ A DISTANTELOR

2.2.1. INSTRUMENTE PENTRU MĂSURAREA DIRECTĂ A DISTANTELOR

În funcție de rezultatele care se obțin în măsurători, pentru măsurarea directă a distanțelor instrumentele se clasifică în :

- instrumente puțin precise, folosite în lucrări preliminare de recunoaștere a terenului sau lucrări expeditivă (lanțul cu zale, compasul);
- instrumente precise, folosite în mod obișnuit în măsurători topografice (panglica de oțel, ruleta);

— instrumente foarte precise, folosite în măsurători geodezice (firul de invar).

Panglica de oțel. Este o bandă de oțel cu lungimea de 20, 25 sau 50 m și lățimea 1, 2, 5 cm și grosimi între 0,5—0,8 mm.

Panglicile au la cele două capete câte un inel de bronz cu articulație, iar lungimea de 20 sau 50 m este cuprinsă între două repere gravate pe aceste inele. Diviziunile metrice sînt indicate prin cifre imprimate pe plăcuțe de aramă. Subdiviziunile decimetrice sînt indicate prin butoni mici de cupru.

Panglicile sînt divizate pe o parte într-un sens, iar pe partea opusă, invers.

Există și panglici speciale care sînt divizate în centimetri pe toată lungimea, iar la capete sînt scale divizate în milimetri. Accesoriile necesare pentru măsurarea lungimilor cu panglica sînt *bastoanele întinzătoare* care se introduc prin inelele de bronz pentru a întinde panglica pe teren.

Întinderea panglicii se face cu o forță egală cu forța de etalonare de 3 daN/mm² de secțiune de panglică, valoare care se poate citi pe un dinamometru intercalat la unul din capete, între panglică și baston.

Ruleta de oțel. Banda de oțel folosită pentru rulete are secțiunea de 0,2 x 13 mm și lungimea de 10, 20, 25, 50 m.

Firul de invar. Permite măsurarea distanțelor cu precizia de ordinul 1:1 000 000. Are lungimea de 24 m sau de 48 m, materialul din care este confecționat fiind un aliaj din fier și nichel, cu un coeficient de dilatare foarte mic.

Pentru măsurarea bazelor se folosește trusa de invar, compusă din următoarele piese :

- patru fire de 24 m;
- 1 fir de 8 m;
- o panglică de 4 m;
- două trepiede tensoare care servesc pentru susținerea firului la întindere uniformă, cu ajutorul a două greutatea de 10 kg;
- accesorii : termometru pentru determinarea temperaturii aerului : fir gabarit — un cablu de 24 m — pentru amplasarea trepiedelor cu cap reper la o distanță de cît mai aproape de 24 m ; miretă pentru determinarea diferențelor de nivel dintre două repere consecutive.

În timpul măsurării bazei, firul de invar este suspendat astfel ca rigletele gradate să fie în dreptul capetelor reper mobile ale trepiedelor de pe traseu.

2.2.2. MĂSURAREA DIRECTĂ A LUNGIMILOR CU PANGLICA

Măsurarea lungimilor este precedată de *jalonarea și prichetarea alimentatorului* între cele două puncte. Această operație marchează pe teren direcția celor două puncte.

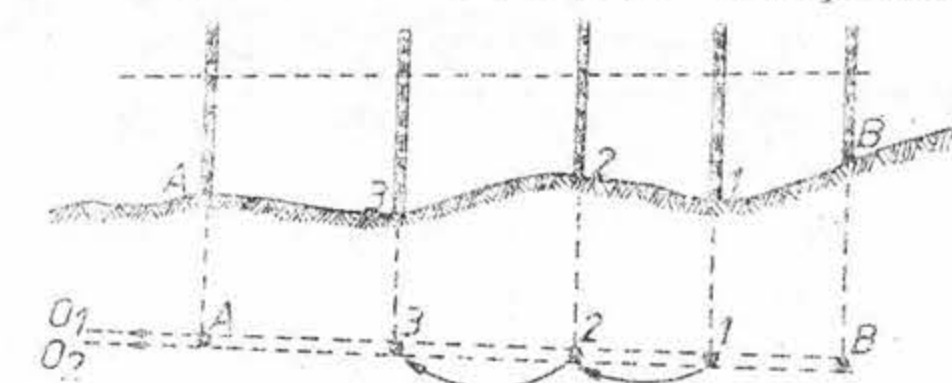


Fig. XV.5. Trasarea aliniamentului.

Jalonarea se face cu ochiul liber, cu binoclul sau cu un aparat topografic cu lunetă. Jalonarea aliniamentului AB se face prin alinierea jaloanelor 1, 2, 3, începînd de la punctul B. Alinierea se face vizînd din O_1 și O_2 în plane tangente verticale, comune la toate jaloanele așezate succesiv pe direcția AB (fig. XV.5.).

2.2.3. CORECȚII APLICATE LUNGIMILOR MĂSURATE CU BENZI DE OȚEL

Corecția de etalonare ΔL_k . La determinarea aceste corecții se ține seama de diferența dintre lungimea normală l_n a panglicii și lungimea reală l_R , cunoscută de la etalonare. Corecția pentru o lungime se calculează cu relația :

$$\Delta l_k = l_R - l_n$$

Corecția pentru întreaga lungime măsurată L va fi :

$$\Delta L_k = \frac{\Delta l_k \cdot L}{l_n} = \Delta l_k \cdot n$$

$n = L/l$ și reprezintă numărul de panglici cuprinse în lungimea respectivă.

Corecția de tensiune sau de întindere (ΔL_p). Benzile de oțel fiind elastice, lungimea lor variază în funcție de forța de întindere în timpul măsurării. Această corecție nu se aplică atunci când în timpul măsurării panglica se întinde cu aceeași forță ca la etalonare, folosind dinamometrul.

Corecția de temperatură (ΔL_t). Datorită temperaturii din timpul măsurării, t° , diferită de cea de la etalonare, t_0° , lungimea l_t a panglicii va fi :

$$l_t = l [1 + \alpha (t^\circ - t_0^\circ)]$$

unde : l este lungimea panglicii ; α — coeficientul de dilatație termică a oțelului ; $\alpha = 0,0115 \text{ mm/l}^\circ$.

Corecția de temperatură pentru o lungime de panglică va fi :

$$\Delta l_t = l_t - l = l \alpha (t^\circ - t_0^\circ)$$

Pentru o panglică de oțel de 50 m, corecția de temperatură se calculează :

$$\Delta l_t = 50 \cdot 0,0115 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ) = 0,575 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ)$$

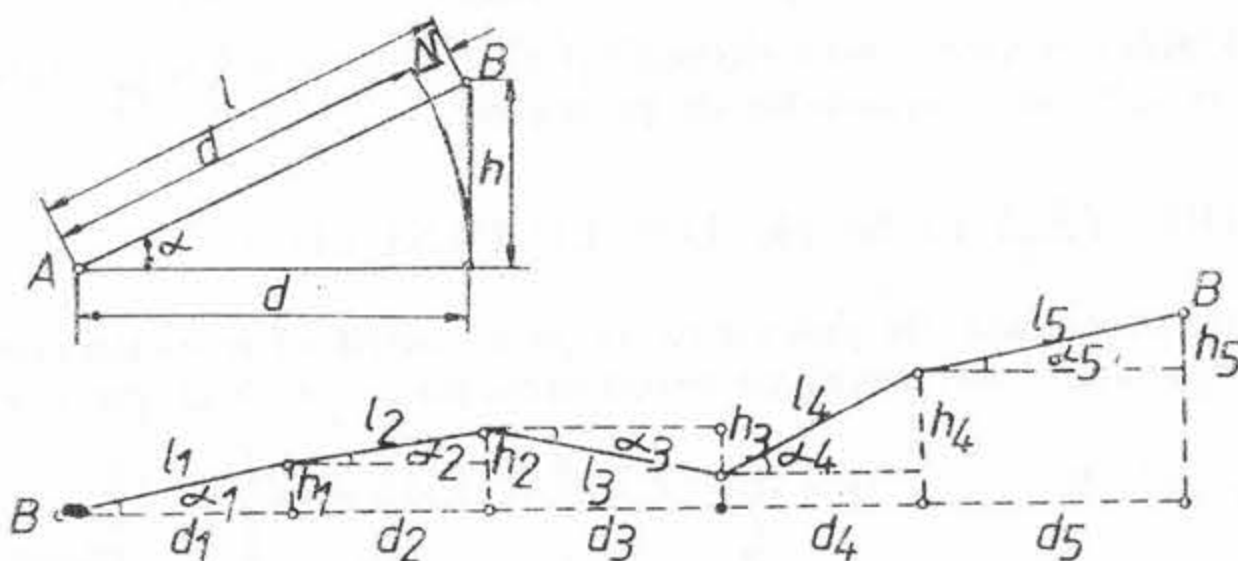


Fig. XV.6. Reducerea la orizont a distanțelor.

Pentru o lungime oarecare măsurată, corecția de temperatură va fi :

$$\Delta L_t = 0,6 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ) \cdot \frac{L}{l}$$

Corecția de reducere la orizont (ΔL_0). Pe teren se măsoară distanțele inclinate între punctele topografice. Aceste distanțe se vor reduce la orizont, determinându-se valoarea lor orizontală (fig. XV.6.)

$$d = l \cos \alpha = \sqrt{l^2 - h^2}$$

Corecția de reducere la orizont este

$$\Delta L_0 = d - l$$

2.3. MĂSURAREA INDIRECTĂ A DISTANTELOR

Măsurarea distanțelor reprezintă un volum mare al lucrărilor topografice pe teren, iar măsurarea directă a distanțelor cu benzile și firele de oțel este dificilă sau chiar imposibilă în terenurile cu relief accidentat, peste ape, pe șantierele de construcții și în localități. Măsurarea optică, electrooptică și electromagnetică a distanțelor este metoda cea mai indicată în asemenea situații și, în plus, este mult mai rapidă decât măsurarea directă a distanțelor în condițiile asigurării aceleiași precizii.

2.3.1. METODA OPTICĂ

Utilizează ca aparatură *teodolitele tahimetre*, care sînt teodolite obișnuite ce au marcate pe placa firelor reticulare fire stadimetrice.

Un asemenea aparat se staționează într-unul din capetele distanței, iar la celălalt capăt se așază în poziție verticală o miră gradată către care se fac observații (fig. XV.7).

Cu observațiile efectuate în dreptul firelor stadimetrice, pe mira gradată, notate cu L_1 și L_2 , se poate obține indirect distanța scriind :

$$D = 100 (L_1 - L_2) \cos^2 \varphi$$

unde φ este unghiul citit la cercul vertical.

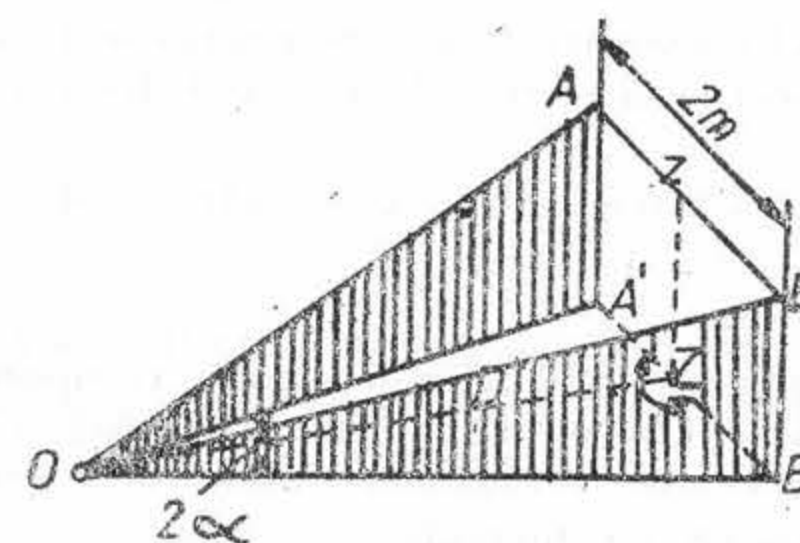


Fig. XV.7. Măsurarea tahimetrică a distanțelor.

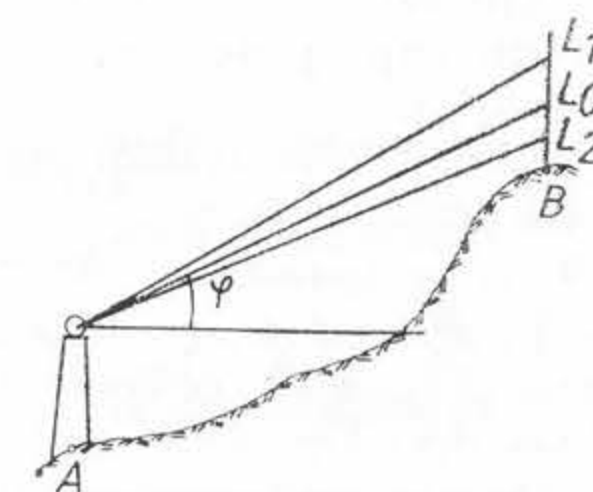


Fig. XV.8. Măsurarea distanțelor cu miră orizontală.

Este simplu de observat că atunci când $\varphi = 0$, deci linia de observație este orizontală (cazul terenurilor orizontale), $\cos^2 \varphi = 1$ și :

$$D = 100 (L_1 - L_2)$$

În obținerea indirectă a distanțelor pe cale optică, pot fi folosite aparate care nu au firele stadimetrice. Este nevoie însă ca în locul mirei verticale să fie folosită o miră orizontală (realizată în acest scop), numită *miră de invar*, cu o lungime fixă de 2 m (fig. XV.8).

Distanța în acest caz rezultă ca fiind :

$$D = \text{ctg } \alpha$$

unde α este unghiul orizontal format de direcțiile ce pornesc din punctul de stație către punctele marcate la extremitățile mirei orizontale.

De menționat, că mira de invar prin construcție poate fi așezată orizontal și perpendicular pe linia de observație.

În scopul simplificării în mai mare măsură a măsurătorilor de distanțe, au fost construite aparate numite *tahimetre autoreductoare*, prevăzute cu dispozitive speciale, care dau direct distanțele reduse la orizont. Astfel există *tahimetre autoreductoare cu diagramă* (Dahlta 020, Kern DK-RV și Wild RDS), *tahimetre autoreductoare cu dublă imagine* (Redta 02), *tahimetre telemetre* (teletop).

2.3.2. MĂSURAREA ELECTROOPTICĂ ȘI ELECTROMAGNETICĂ A DISTANTELOR

După frecvența semnalului pe care îl emite, aparatura electromagnetică și electro-optică se împarte în :

- 1) telemetre electrooptice, care lucrează în gama undelor luminoase ;
- 2) radiotelemetre care lucrează în gama undelor radio.

După metoda de măsurare, se împart în :

- 1) telemetre cu impulsuri ;
- 2) telemetre fazice.

Atât telemetrele electrooptice cât și radiotelemetrele funcționează pe principiul măsurării timpului de propagare a undelor electromagnetice de-a lungul distanței care se măsoară.

În funcție de timpul parcurs dus și întors între cele 2 extremități, se determină distanța de măsurat.

Aceste aparate se mai numesc și *geodimetre*.

În această categorie se poate aminti *geodimetrul* NASN-6 care se compune din aparatul propriu-zis, ce constituie stația de măsurare sau emițătoare și reflectorul sau stația reflectoare, instalate fiecare în capetele distanței de măsurat.

Distanța măsurată înclinată se determină cu formula :

$$D = [\varphi : (4\pi \cdot f)] \cdot C_0$$

în care : φ este diferența de fază ; f — frecvența undei ; C_0 — viteza de propagare în vid a luminii.

$$\varphi = 2\pi f t$$

unde t este timpul înregistrat pentru parcurgerea distanței dus și întors de către lumină ;

$$C_0 = 299\,792,5 \text{ km/s.}$$

La valoarea D se adaugă corecții meteorologice din timpul măsurării distanței.

2.4. INSTRUMENTE DE MĂSURARE DIRECTĂ A ÎNĂLȚIMILOR

Aceste instrumente folosesc la determinarea diferențelor de nivel dintre puncte sau la trasarea pe teren a unei cote. Se împart în două categorii :

- instrumente de nivelment geometric simple (fără lunetă) ;
- instrumente de nivelment geometric cu lunetă.

În categoria instrumentelor simple de nivelment geometric sînt :

- nivela cu tub de cauciuc și lata de nivelment.

2.4.1. INSTRUMENTE DE NIVELMENT GEOMETRIC CU LUNETĂ

După modul cum se realizează orizontalizarea axei de vizare, aceste instrumente pot fi grupate în :

- instrumente de nivelment geometric clasice ;
- instrumente de nivelment geometric cu compensator.

Nivelele clasice se compun, în general, din următoarele părți principale (fig. XV.9) :

— ambaza, 1, formată din suport și șuruburile de calare 2, axul vertical și alidadă, luneta 3 și nivela torică 5.

Nivela cu lunetă are 3 axe :

— VV' — este axa de rotație în jurul căreia se rotește suportul lunetei împreună cu luneta ;

— OO' — axa de vizare a lunetei determinată de intersecția firelor reticulare și centrul optic al obiectivului, axă ce trebuie să fie orizontală ;

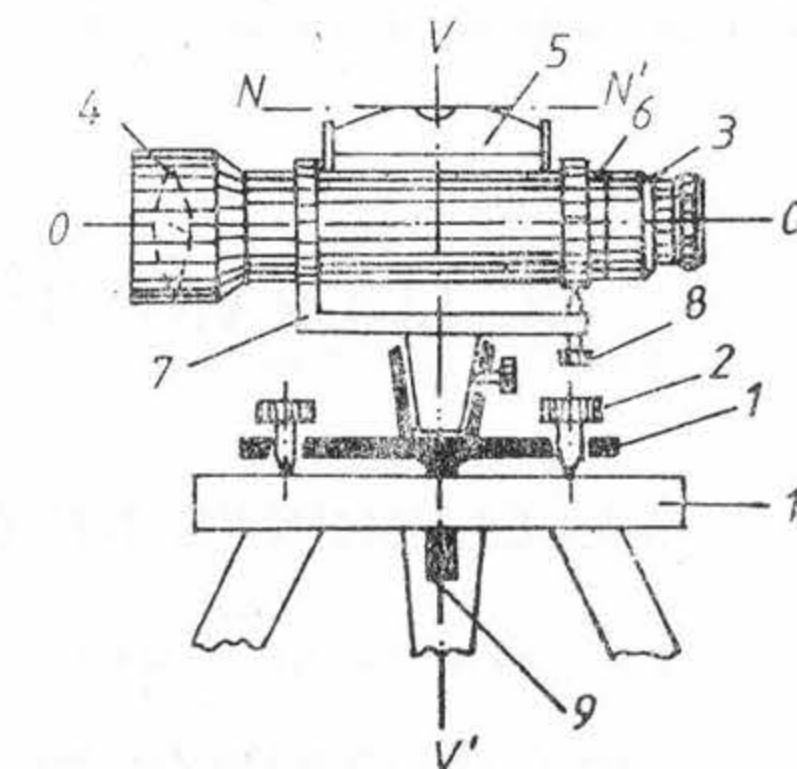


Fig. XV.9. Părțile principale ale unei nivele :

1 — ambază ; 2 — șurub de calare ; 3 — lunetă ; 4 — obiectivul lunetei ; 5 — nivela de calare ; 6 — reticul ; 7 — traversă ; 8 — șurub de elevație ; 9 — șurub pompă ; 10 — trepied.

— NN' — axa sau directricea nivelei torice care trebuie să fie și ea orizontală*

Mișcările nivelei cu lunetă se referă la :

- mișcarea lunetei în jurul axei VV'
- mișcarea în plan vertical realizată cu șurubul de fină mișcare în vederea calării nivelei torice la fiecare viză.

Instrumentele de nivelment rigide cele mai răspândite la noi în țară sînt aparatele firmei Zeiss-Jena (Ni-030 ; Ni-004).

Nivela Zeiss Ni 030 poate realiza o eroare medie pătratică de ± 2 mm la ± 3 mm/km de dublu nivelment. Precizia de măsurare cu aparatul poate fi mărită dacă se folosește un micrometru optic de obiectiv cu placă plan-paralelă și mire speciale de invar.

În acest caz, se poate obține o eroare medie pătratică de $\pm 0,8$ mm/km de dublu nivelment.

Nivela Ni 004 se deosebește în principal de Ni 030 prin aceea că micrometrul optic este încorporat în lunetă, iar coincidența bulei nivelei torice se observă direct în câmpul lunetei. Precizia lui este de 0,4 mm/km de dublu nivelment.

2.4.2. INSTRUMENTE DE NIVELMENT CU COMPENSATOR

Nivelele compensatoare sau automate simplifică procesul de măsurare, ducând la sporirea randamentului lucrărilor de teren. Aceste instrumente de nivelment nu mai au nivelă torică pentru orizontalizarea axei de vizare, aceasta realizându-se automat cu ajutorul unui compensator, după ce în prealabil aparatul a fost calat aproximativ cu nivela sferică.

După modul de construcție, compensatoarele pot fi:

- cu pendul;
- cu nivelă;
- cu lichid.

Instrumentele de nivelment cu compensator folosite în țara noastră sînt Ni 007 și Ni 025.

Nivela automată Zeiss — Ni 007 este o nivelă de precizie care dă o eroare medie pătratică de $\pm 0,5$ la 0,8 mm/km de dublu nivelment, atunci cînd citirile se efectuează pe mire cu benzi de invar. Compensatorul are un domeniu de basculare $\alpha = \pm 10''$.

3. LUCRĂRI TOPOGRAFICE LA SUPRAFAȚĂ

3.1. ELEMENTE DE GEODEZIE ȘI CARTOGRAFIE

3.1.1. FORMA ȘI DIMENSIUNILE PĂMÎNTULUI

Forma generală a Pămîntului este de geoid, definit prin suprafața mărilor deschise și oceanelor în starea lor de echilibru.

Caracteristica principală a suprafeței geoidului constă în aceea că în fiecare punct al său este normală la direcția forței gravitaționale. Cum însă forțele gravitaționale sînt foarte diferite, în diferite puncte ale suprafeței terestre, din cauza constituției neomogene a maselor din interiorul Pămîntului, rezultă, că este foarte dificil, aproape imposibil, a exprima matematic suprafața geoidului. S-a ajuns la concluzia, că suprafața care poate fi ușor exprimată matematic și este foarte apropiată de geoid este suprafața unui elipsoid

de rotație. Pe baza acestor precizări, secționînd suprafața terestră cu un plan vertical (fig. XV.10) se disting: suprafața topografică (1), suprafața geoidului (2) și suprafața elipsoidului (3).

Dimensiunile Pămîntului sînt în principal dimensiunile elipsoidului, sau ale elipsei care-l generează.

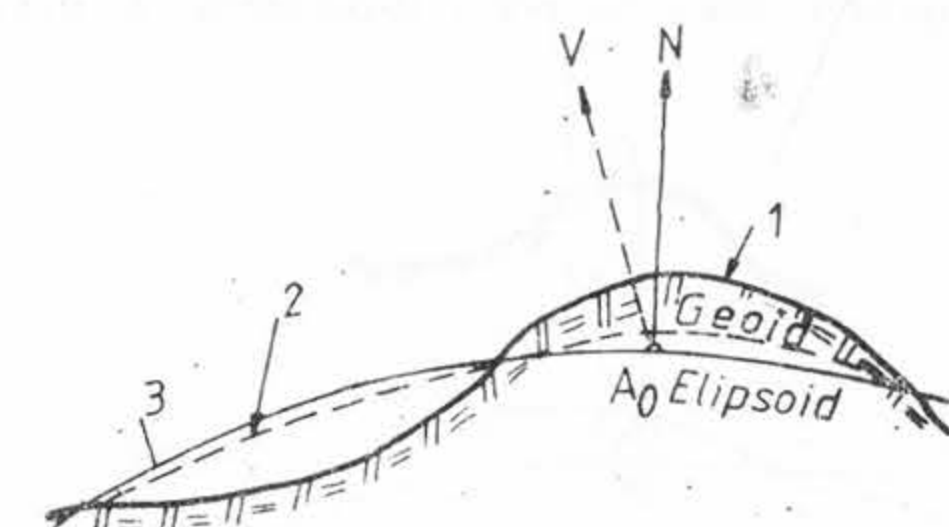


Fig. XV.10. Secțiune prin suprafața terestră.

Preocupările existente la diferite perioade de timp au condus la stabilirea diferitelor valori ale elipsoidului terestru mai mult sau mai puțin apropiate de adevăr, funcție de tehnica de măsurare și mijloacele de calcul cunoscute la acea vreme.

Tabelul XV.1

Dimensiunile elipsoidului de rotație

Autorul	Anul	Semiaxa mare	Turtirea
Bessel	1841	6 377 397	1: 299,15
Clarke	1880	6 378 249	1: 293,5
Helmert	1906	6 378 140	1: 298,3
Hayford	1909	6 378 388	1: 297,0
Krasovski	1940	6 378 245	1: 298,3

În tabelul XV.1 sînt indicați autorii și rezultatele lor cu privire la semiaxele elipsei care generează elipsoidul terestru.

3.1.2. SUPRAFEȚE DE REFERINȚĂ

Pentru reprezentarea suprafeței Pămîntului cu neregularitățile pronunțate pe care le prezintă se stabilesc anumite legi sau convenții, astfel încît imaginea obținută să fie cît mai apropiată de realitate.

Astfel, funcție de extinderea suprafețelor care se reprezintă și de natura ridicărilor geodezice și topografice, se pot folosi diferite suprafețe de referință:

— *suprafața geoidului* — folosită pentru ridicările nivelitice, acestea constituind suprafața de nivel zero;

— *suprafața elipsoidului* — folosită în ridicările geodezice de planimetrie pe suprafețe mari.

Un punct P de pe suprafața fizică a Pământului este proiectat în P' pe suprafața elipsoidului cu ajutorul normalei N la această suprafață (fig. XV.11).

În acest fel toate punctele principale (care formează rețelele geodezice de sprijin) sînt trecute de pe suprafața fizică a Pământului pe suprafața elipsoidului de referință.

Suprafața sferei de rază medie, folosită în ridicările geodezice de planimetrie pe suprafețe mici. Se poate demonstra că suprafața elipsoidului de referință poate fi înlo-

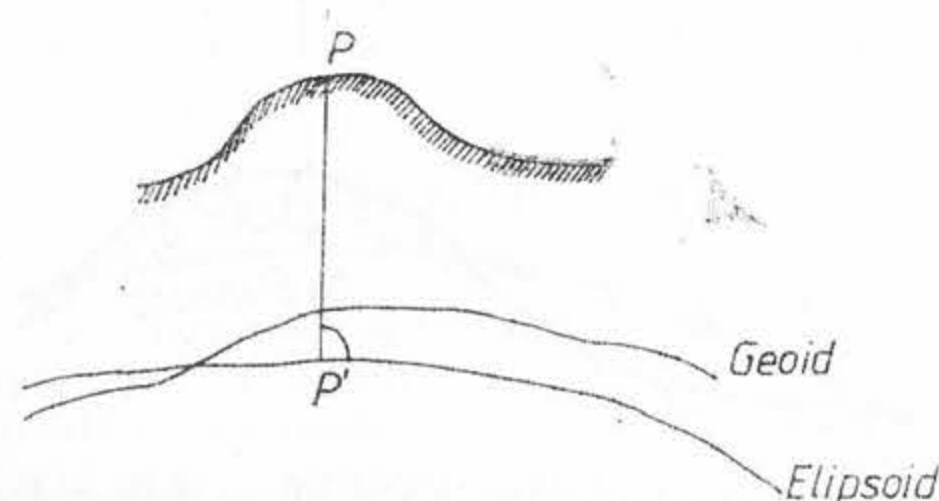


Fig. XV.11. Proiectarea unui punct pe suprafața elipsoidului.

cuită cu suprafața unei sfere a cărei rază este $R = \sqrt{MN}$, calculată în funcție de latitudinea punctului situat în centrul teritoriului considerat.

Raza sferei reprezintă o rază medie de curbura, iar M și N sînt razele principale de curbura respectiv: M — raza de curbura a curbei meridiene, N — raza de curbura a normalei la meridian în punctul în care se calculează.

Suprafața plană. Calculele pe suprafața elipsoidului și chiar pe suprafața sferei de rază medie sînt voluminoase și destul de dificile. Acestea pot fi însă simplificate prin adoptarea unei suprafețe plane, care corespunde cu un anumit sistem de reprezentare sau de proiecție.

În țara noastră sînt folosite în prezent două sisteme de reprezentare: *sistemul cilindric-transversal* sau *Gauss-Krüger* și *sistemul stereografic cu plan secant*.

Corespunzător cu aceste sisteme de reprezentare se obțin coordonatele plane rectangulare *Gauss-Krüger* sau coordonatele plane stereografice.

3.1.3. COORDONATE PLANE GAUSS-KRÜGER

Proiecția cilindrică transversală aparține proiecțiilor cilindrice conforme, adică păstrează nedeformate unghiurile.

În proiecția cilindrică transversală întreaga suprafață a globului terestru sau o anumită porțiune din aceasta este reprezentată pe suprafața desfășurabilă a unui cilindru a cărui axă face cu axa polilor un unghi de 90° (fig. XV.12).

Se observă că cilindrul este tangent la ecuator numai în două puncte, și anume în acelea care aparțin cerului mare format de meridianul PMP .

De altfel acest cerc este linia de contact a cilindrului cu suprafața terestră și care în proiecție rămîne nedeformat.

Lungimile situate în stînga sau în dreapta meridianului de tangentă, în proiecție, se deformează, deformațiile fiind cu atît mai mari cu cît acestea sînt situate mai departe față de meridian. Pentru acest motiv, în proiecția cilindrică reprezentarea suprafețelor

se face pe zone de 6° diferență de longitudine, respectîndu-se în acest mod limita maximă admisibilă a deformărilor de lungimi de $1/2500$.

Pentru ca totuși întreaga suprafață a globului terestru să poată fi reprezentată în planul obținut prin desfășurarea cilindruului după una din generatoarele sale, se va împărți suprafața în zone limitate de meridiane cu diferențe de longitudine de 6° , urmînd ca în continuare, printr-o mișcare imaginară a globului, să se considere cilindrul de pro-

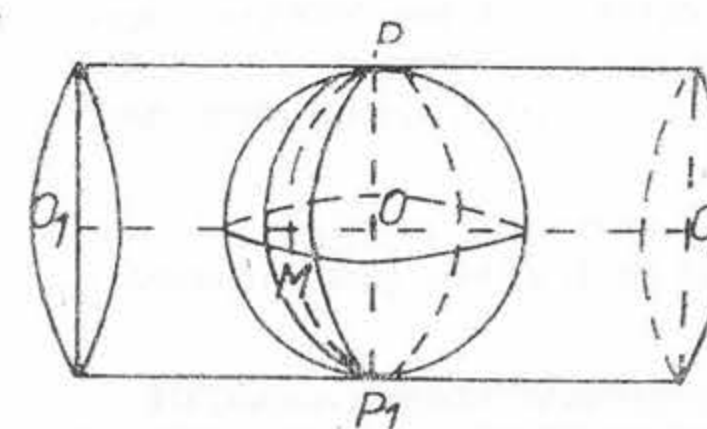


Fig. XV.12. Reprezentarea cilindrică transversală.

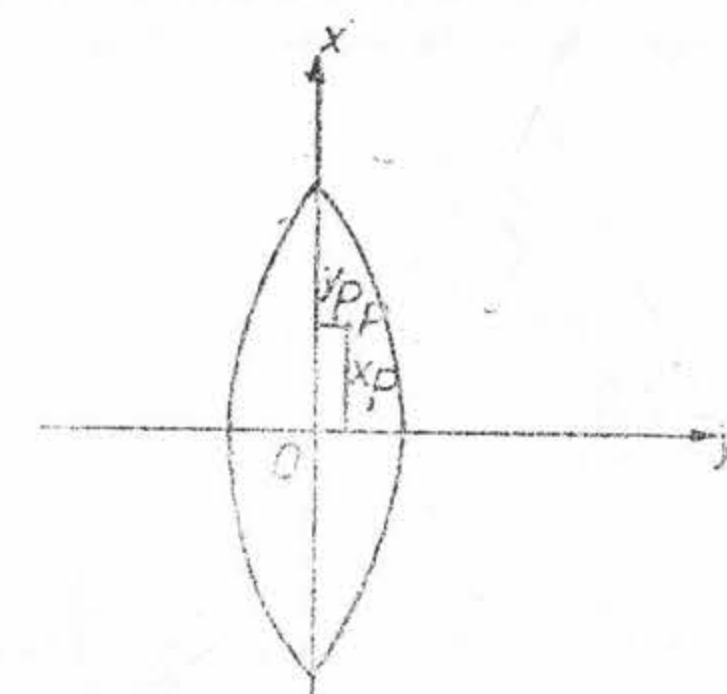


Fig. XV.13. Coordonatele unui punct în proiecție cilindrică.

iecție tangent la meridianul axial al fiecărei zone. Vor exista în total 60 de zone, care se numesc *fuse*, iar fiecare din acestea va fi împărțit în două părți egale de către meridianul axial ce îl străbate în lungime.

Proiecția cilindrică transversală folosește, pentru reprezentarea suprafeței, sisteme de coordonate rectangulare specifice fiecărui fus, respectiv oricare din cele 60 de fuse va avea originea și sistemul său de coordonate.

Axele de coordonate sînt dispuse astfel:

- ox — pe direcția meridianului axial;
- oy — pe direcția ecuatorului.

Întrucît față de aceste axe diferite puncte care aparțin fusului ce se reprezintă pot avea coordonate negative, s-a convenit ca originea axelor să aibă coordonatele: $x = 0,000$ km; $y = 500\,000$ km.

În acest fel citirea coordonatelor unui punct dintr-un fus oarecare se face după cum urmează:

— abscisa x se citește potrivit rezultatelor obținute din calcul;

— ordonata y se citește potrivit rezultatului obținut din calcul, la care se adaugă 500 km (dacă punctul este situat în dreapta meridianului axial) sau se scade din 500 km (dacă punctul este situat în stînga meridianului axial). Pentru a indica și numărul fusului în care se află punctul, se adaugă în fața ordonatei numărul fusului față de meridianul Greenwich.

Exemplu. Punctul P situat în dreapta meridianului axial (fig. XV.13) de coordonate: $x_p = 5\,293\,625,43$ m; $y_p = 5\,504\,423,21$ m se află în fusul 5, la o depărtare de $5\,293\,625,43$ față de ecuator și de $(504\,423,21 - 500\,000) = 4\,423,21$ m față de meridianul axial, această din urmă distanță considerată în dreapta meridianului axial.

3.1.4. COORDONATE PLANE STEREOGRAFICE

În proiecția stereografică, o porțiune oarecare din suprafața terestră se reprezintă pe un plan de reprezentare după legile perspectivei liniare.

Funcție de poziția planului în raport cu suprafața terestră se disting :

— proiecția stereografică cu plan tangent, atunci când planul de reprezentare este tangent la suprafața terestră în punctul central al porțiunii de suprafață care se reprezintă :

— proiecția stereografică cu plan secant, atunci când planul de reprezentare este secant la suprafața terestră.

Dacă se urmărește reprezentarea grafică (fig. XV.14), se pot preciza elementele geometrice de bază ale proiecției stereografice cu plan tangent. Astfel sînt :

C — punctul central al porțiunii de suprafață care se reprezintă (pentru țara noastră $\varphi_c = 46^\circ$, $\lambda_c = 25^\circ$);

H — planul de reprezentare;

P — un punct oarecare, ce aparține porțiunii de suprafață care se reprezintă;

O_1 — punctul de vedere, diametral opus punctului C și din care pornesc razele de proiecție;

P' — imaginea punctului P în planul de reprezentare;

s și α — elementele geodezice cu care se definește pe suprafața terestră poziția punctului P față de sistemul de referință format din punctul C și meridianul geografic ce trece prin acest punct;

S și α — elementele plane cu care se definește poziția punctului P' față de sistemul de referință xy , orientat în așa fel încît axa x -ilor coincide cu direcția meridianului punctului C , iar axa y -ilor coincide cu direcția paralelului punctului C .

Elementele geometrice de bază se definesc în mod similar și pentru proiecția stereografică cu plan secant.

Pentru ca toate punctele situate pe teritoriul țării noastre să posede coordonate pozitive, sistemul de coordonate este traslatat astfel încît originea are coordonatele :

$$x = 500,000 \text{ km}; y = 500,000 \text{ km}.$$

Proiecția stereografică este ca și proiecția cilindrică transversală conformă, însă calitativ superioară în sensul că deformările liniare sînt mult mai mici.

Observație. În scopul reducerii deformărilor liniare și creșterii calității documentelor topografice, în bazinele miniere dezvoltate pe suprafețe mari se folosesc sisteme de proiecție locale (sistemul minier). Aceste sisteme independente inițial, dar ulterior racordate la sistemul de proiecție național, sînt similare cu sistemul stereografic de proiecție. Punctul central de proiecție este situat în centrul bazinului minier, poziția planului de proiecție este la nivelul mediu al lucrărilor miniere subterane.

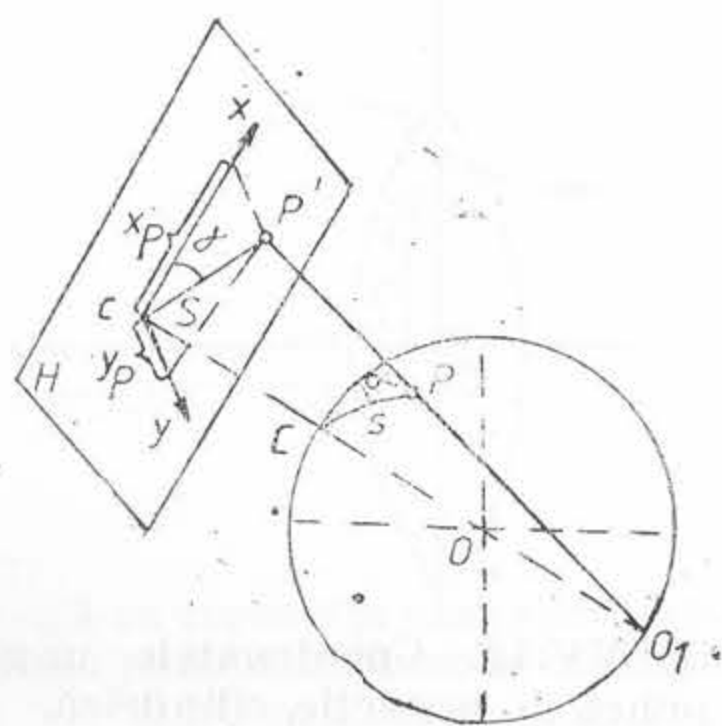


Fig. XV14. Proiecția stereografică.

3.2. TRIANGULAȚIA

Triangulația reprezintă o metodă de determinare a poziției punctelor de pe suprafața Pământului pe una din suprafețele de referință adoptată.

Pozițiile punctelor pe suprafața de referință se stabilesc prin coordonatele lor geografice dacă suprafața este elipsoidală sau sferică, respectiv rectangulare dacă suprafața de referință este plană.

Totalitatea punctelor situate pe suprafața terestră pentru care se cunosc coordonatele într-un anumit sistem formează *rețeaua geodezică de sprijin*.

Pe această rețea de sprijin se dezvoltă în continuare lucrările topografice și fotogrammetrice necesare în realizarea planurilor topografice de la suprafață și în continuare cele din subteran.

3.2.1. REȚEAUA DE TRIANGULAȚIE DE STAT

Rețeaua geodezică de sprijin este formată din totalitatea punctelor de triangulație existente pe teritoriul țării și constituie *rețeaua de triangulație de stat*. Aceasta este împărțită în rețele de triangulație de diferite ordine, care diferă în primul rînd prin lungimea laturilor figurilor geometrice din care sînt formate. Astfel sînt formate rețelele de triangulație de ordinul : I, II, III, IV, V.

Lungimile medii și mărimile ce corespund acestor ordine sînt cuprinse în tabelul XV.2.

Tabelul XV.2

Ordinul punctelor geodezice

Ordinul de triangulație	Lungimea medie a laturii [km]	Lungimea minimă a laturii [km]
I	20—25	10
II	13	7
III	8	5,5
IV	4	2
V	2	1

3.2.2. REALIZAREA REȚELEI DE TRIANGULAȚIE DE STAT

Principiul în realizarea rețelei de triangulație de stat este de la superior către inferior. Conform acestui principiu s-a realizat mai întîi rețeaua de triangulație de ordinul I și în continuare, cu sprijin pe aceasta, rețelele de ordinul II, III, IV și V. Triangulația de ordinul

I s-a realizat sub forma unei rețele compacte (fig. XV.15) de figuri geometrice — în majoritate triunghiuri și uneori patrulatere cu duble diagonale — și a fost rezolvată în bloc cu ajutorul tehnicii actuale de calcul.

Rețeaua de triangulație de ordinul II constituie o dezvoltare a rețelei de triangulație de ordinul I, rețeaua de triangulație de ordinul III o dezvoltare a rețelelor de ordinul I și II și așa mai departe. Legăturile între punctele de triangulație de diferite ordine se realizează de la simplu la complex (fig. XV.16).

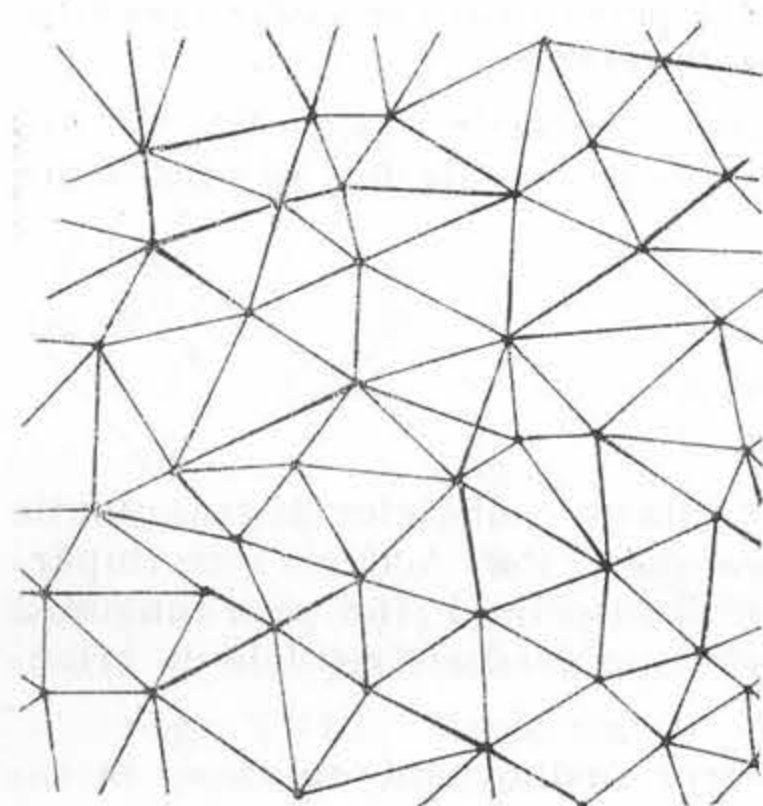


Fig. XV.15. Triangulația de ordinul I.

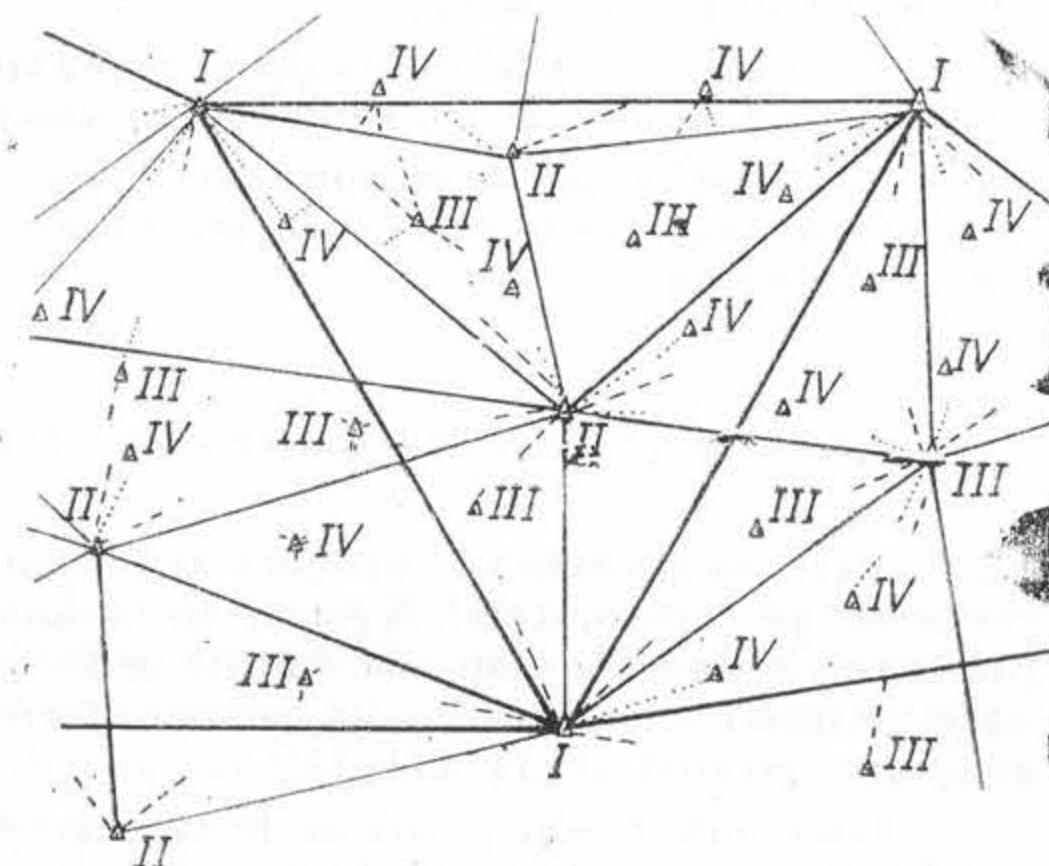


Fig. XV.16. Legătura între punctele de triangulație.

Rețelele de triangulație de ordinele I, II, și III formează rețeaua de ordin superior, iar rețelele de triangulație de ordinele IV și V formează rețeaua de ordin inferior.

3.2.3. IMPORTANȚA ȘI CARACTERUL REȚELEI DE TRIANGULAȚIE

Rețeaua de triangulație de stat constituie principala rețea de sprijin pentru toate lucrările topografice și fotogrammetrice precum și pentru lucrările geodezice de importanță locală, conform cerințelor realizării unor obiective economice. Având în vedere principiul realizării rețelei de triangulație rezultă, că o rețea poate fi independentă sau liberă, dacă conține un singur grup de elemente cunoscute sau fixe (latură, orientare, coordonatele unui punct), sau poate fi dependentă sau constrinsă dacă conține mai multe elemente fixe.

În zonele miniere, dat fiind extinderea lor pe suprafețe mari, există puncte ce aparțin rețelei de triangulație de stat. O primă problemă care se pune este legată de dezvoltarea rețelei de triangulație de stat cu puncte noi de triangulație necesare efectuării lucrărilor de topografie minieră. Având în vedere caracterul de instabilitate a suprafețelor datorită lucrărilor de exploatare minieră, punctele de triangulație își pot modifica poziția în timp. De aici, apare o a doua problemă care se referă la verificarea rețelelor de triangulație formate de punctele situate în zonele miniere și folosite ca bază de sprijin în obținerea punctelor noi. Sînt situații cînd verificarea rețelelor de triangulație se realizează simultan cu dezvoltarea acestora.

3.2.4. VERIFICAREA REȚELELOR DE TRIANGULAȚIE

În perimetrul bazinului sau exploatării miniere se stabilesc punctele ce aparțin triangulației de stat și care formează o rețea de triangulație, de regulă, de ordinul IV—V.

Aceste puncte cu legături directe între ele conduc la forme geometrice simple care pot fi (fig. XV.17): poligon cu punct central, patrulater cu două diagonale, lanț de triunghiuri, lanț de patrulatere etc.

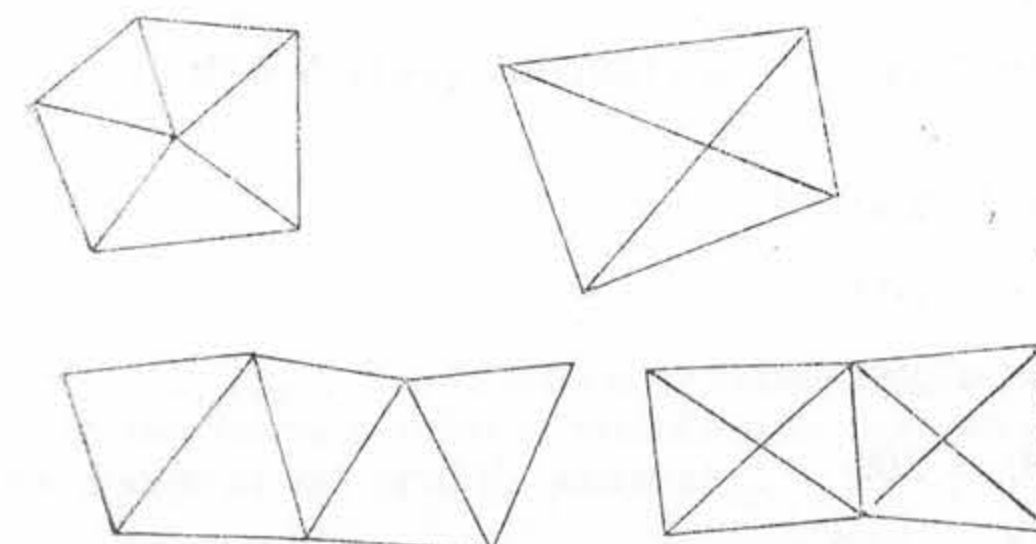


Fig. XV.17. Rețele de triangulație — forme.

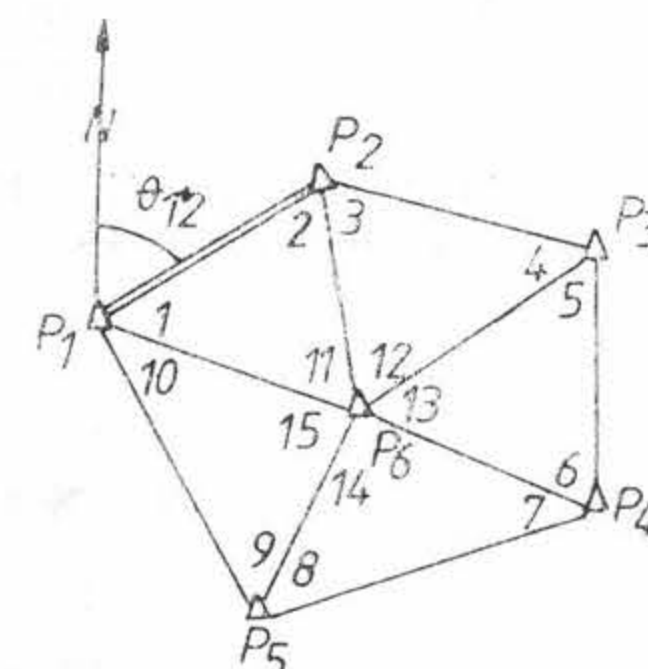


Fig. XV.18. Rețea de triangulație de forma unui poligon cu punct central.

Se consideră în continuare punctele de triangulație P_1, P_2, \dots, P_4 care formează un poligon cu punct central (fig. XV.18).

Se efectuează în aceste puncte observații de direcții după metoda seriilor complete, din care rezultă unghiurile $1, 2, \dots, 15$. Principala operație pe care o implică verificarea rețelei de triangulație considerată se referă la prelucrarea mărimilor măsurate. Se urmărește prin aceasta stabilirea valorilor probabile ale unghiurilor în baza unor relații de condiții geometrice, impuse de natura și forma rețelei de triangulație.

Astfel, se consideră din totalitatea punctelor, ca fiind cunoscute numai coordonatele punctelor P_1 și P_2 , celelalte urmînd a fi determinate și deci a fi verificate. Este vorba de o rețea de triangulație independentă cu un punct (P_1) de coordonate cunoscute, cu o orientare (θ_{12}) și o distanță (P_1P_2) de asemenea cunoscute (calculate din coordonatele punctelor P_1 și P_2).

Pentru rețelele de triangulație independente numărul relațiilor de condiții se stabilește cu expresiile:

$$W_1 = l_1 - p_1 + 1$$

$$W_2 = n_0$$

$$s = l - 2p + 3$$

$$r = \omega - 2p + 4 \quad (r = W_1 + W_2 + s) \quad (3.1)$$

S-a notat cu:

W_1 — numărul condițiilor de figură; W_2 — numărul condițiilor de centru; s — numărul condițiilor de laturi; r — numărul total de condiții; l_1 — numărul laturilor cu

vize duble; p_1 — numărul punctelor staționabile; n_0 — numărul punctelor în care sînt măsurate toate unghiurile; p — numărul total de puncte de triangulație; ω — numărul total de unghiuri măsurate.

Pentru rețeaua de triangulație considerată, rezultă:

$$\begin{aligned} W_1 &= 10 - 6 + 1 = 5 \\ W_2 &= 1 \\ s &= 10 - 2 \cdot 6 + 3 = 1 \\ r &= 15 - 2 \cdot 6 + 4 = 7 \quad (7 = 5 + 1 + 1) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Notînd cu (1), (2), ..., (15) valorile probabile ale unghiurilor, poate fi scrisă forma condițiilor geometrice astfel:

$$\begin{aligned} (1) + (2) + (11) &= 200 \\ (3) + (4) + (12) &= 200 \\ (5) + (6) + (13) &= 200 \\ (7) + (8) + (14) &= 200 \\ (9) + (10) + (15) &= 200 \\ (11) + (12) + (13) + (14) + (15) &= 400 \\ \frac{\sin(1) \sin(3) \sin(5) \sin(7) \sin(9)}{\sin(2) \sin(4) \sin(6) \sin(8) \sin(10)} &= 1 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Dacă, V_1, V_2, \dots, V_{15} sînt corecțiile probabile ale unghiurilor măsurate, putem scrie:

$$\begin{aligned} (1) &= 1 + V_1 \\ (2) &= 2 + V_2 \\ (15) &= 15 + V_{15} \end{aligned} \quad (3.4)$$

iar relațiile (3.3) devin:

$$\begin{aligned} V_1 + V_2 + V_{11} + \omega_1 &= 0 \\ V_3 + V_4 + V_{12} + \omega_2 &= 0 \\ V_5 + V_6 + V_{13} + \omega_3 &= 0 \\ V_7 + V_8 + V_{14} + \omega_4 &= 0 \\ V_9 + V_{10} + V_{15} + \omega_5 &= 0 \\ V_{11} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{15} + \omega_6 &= 0 \\ d_1 V_1 - d_2 V_2 + d_3 V_3 - d_4 V_4 + d_5 V_5 - d_6 V_6 + d_7 V_7 - \\ - d_8 V_8 + d_9 V_9 - d_{10} V_{10} + \omega_7 &= 0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Sistemul (3.5) se numește *sistemul ecuațiilor de erori*, iar termenii liberi și coeficienții corecțiilor se obțin astfel:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 1 + 2 + 11 - 200 \\ &\dots \dots \dots \\ \omega_5 &= 9 + 10 + 15 - 200 \\ \omega_6 &= 11 + 12 + 13 + 14 + 15 - 400 \\ \omega_7 &= \sin 1 \sin 3 \dots \sin 9 - \sin 2 \sin 4 \dots \sin 10 \\ d_1 &= \sin 1 \sin 3 \dots \sin 9 \frac{\Delta 1}{\sin 1} \\ d_2 &= \sin 2 \sin 4 \dots \sin 10 \frac{\Delta 2}{\sin 2} \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (3.6)$$

$\Delta_1, \Delta_2, \dots$ sînt diferențe tabulare din tabelele de funcții naturale. Utilizînd metodele din *teoria erorilor și metoda celor mai mici pătrate* sistemul de ecuații se transformă în sistemul de ecuații normale:

$$\begin{aligned} [aa] k_1 + [ab] k_2 + \dots + [ag] k_7 + \omega_1 &= 0 \\ &\dots \dots \dots \\ [ag] k_1 + [bg] k_2 + \dots + [gg] k_7 + \omega_7 &= 0 \end{aligned} \quad (3.7)$$

a_1, b_1, \dots, g — sînt coeficienții corecțiilor din sistemul de ecuații (3.5); k_1, k_2, \dots, k_7 — corelate.

Calculul valorilor probabile ale corecțiilor utilizează relația:

$$V_i = a_i k_1 + b_i k_2 + \dots + g_i k_7 \quad (i = 1, 2, \dots, 15) \quad (3.8)$$

Egalitățile (3.4) conduc în cele din urmă la stabilirea valorilor probabile ale unghiurilor din rețeaua de triangulație.

Cu valorile probabile ale unghiurilor se calculează valorile laturilor rețelei de triangulație, orientările laturilor și coordonatele punctelor.

Pentru aceasta se stabilesc mai întîi orientarea direcției $P_1 P_2$ și mărimea laturii $P_1 P_2$. În acest scop se va scrie:

$$\operatorname{tg} \theta_{12} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.9)$$

$$P_1 P_2 = \frac{x_2 - x_1}{\cos \theta_{12}} = \frac{y_2 - y_1}{\sin \theta_{12}} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3.10)$$

Calculul orientărilor laturilor se efectuează pornind de la orientarea laturii $P_1 P_2$, astfel:

$$\begin{aligned} \theta_{23} &= \theta_{21} - [(2) + (3)] = \theta_{12} - [(2) + (3)] \pm 200 \\ \theta_{34} &= \theta_{12} - [(2) + (3) + (4) + (5)] \pm 2 \cdot 200 \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (3.11)$$

De asemenea, pentru calculul laturilor se pornește de la latura P_1P_2 și, folosind teorema sinusurilor, se obține:

$$P_2P_6 = \frac{P_1P_2}{\sin(11)} \sin(1); \quad P_3P_6 = \frac{P_2P_6}{\sin(4)} \sin(3) \quad (3.12)$$

Coordonatele punctelor din rețeaua de triangulație se obțin scriind:

$$x_3 = x_2 + P_2P_3 \cos \theta_{22}$$

$$y_3 = y_2 + P_2P_3 \sin \theta_{23}$$

Valorile coordonatelor obținute se compară cu valorile coordonatelor determinate prin rezolvarea triangulației de stat și dacă diferențele nu sînt mai mari de ± 15 cm, rezultă că punctele nu au avut deplasări în timp. În caz contrar, punctele au fost deplasate, iar coordonatele inițiale nu mai corespund.

3.2.5. DEZVOLTAREA REȚELELOR DE TRIANGULAȚIE

Prin dezvoltarea rețelor de triangulație se înțelege determinarea de noi puncte, în scopul creșterii densității punctelor cunoscute pe o anumită suprafață. Printre punctele ce se obțin prin dezvoltarea rețelei de triangulație sînt și punctele situate în apropierea lucrărilor miniere de deschidere și de la care se transmit elementele topografice (coordo-nate și orientări) în subteran.

Pentru dezvoltarea rețelei de triangulație se folosesc: *metoda intersecțiilor unghiulare* și *metoda traseelor poligonale*.

Metoda intersecțiilor unghiulare. Dacă există punctele de triangulație P_1 și P_2 staționabile și cu coordonatele cunoscute, se pot determina coordonatele unui alt punct P_0 în situația în care există posibilitatea măsurării unghiurilor α și β (fig. XV.19).

Pentru aceasta se scriu ecuațiile dreptelor care trec prin punctele P_1 și P_2 și au unghiurile de orientare către punctul P_0 cunoscute. Se obține:

$$y_0 - y_1 = (x_0 - x_1) \operatorname{tg} \theta_{10}; \quad y_0 - y_2 = (x_0 - x_2) \operatorname{tg} \theta_{20} \quad (3.13)$$

Din sistemul (3.13) rezultă:

$$x_0 = \frac{y_2 - y_1 + x_1 \operatorname{tg} \theta_{10} - x_2 \operatorname{tg} \theta_{20}}{\operatorname{tg} \theta_{10} - \operatorname{tg} \theta_{20}} \quad (3.14)$$

$$y_0 = y_1 + (x_0 - x_1) \operatorname{tg} \theta_{10} = y_2 + (x_0 - x_2) \operatorname{tg} \theta_{20}$$

Pentru valori mari ale orientărilor se folosesc relațiile în cotangentă, obținute similar cu relațiile (3.14) și au forma:

$$y_0 = \frac{x_2 - x_1 + y_1 \operatorname{ctg} \theta_{10} - y_2 \operatorname{ctg} \theta_{20}}{\operatorname{ctg} \theta_{10} - \operatorname{ctg} \theta_{20}} \quad (3.15)$$

$$x_0 = x_1 + (y_0 - y_1) \operatorname{ctg} \theta_{10} = x_2 + (y_0 - y_2) \operatorname{ctg} \theta_{20}$$

Verificarea de teren a coordonatelor punctului P_0 este obligatorie și constă în aplicarea intersecției unghiulare din alte două puncte cunoscute sau dintr-un punct folosit la prima intersecție (P_1 sau P_2) și un al treilea punct cunoscut. Diferențele între coordonatele de același nume obținute din cele două intersecții nu trebuie să fie mai mari de ± 15 cm. Dacă această limită nu este depășită, valorile definitive se obțin prin medii aritmetice simple.

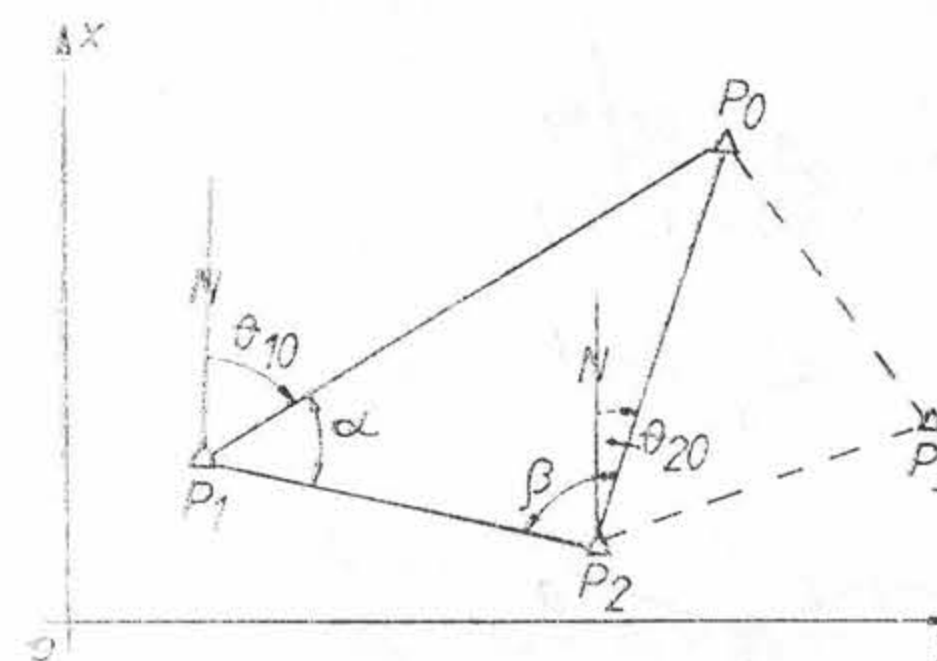


Fig. XV.19. Intersecția unghiulară.

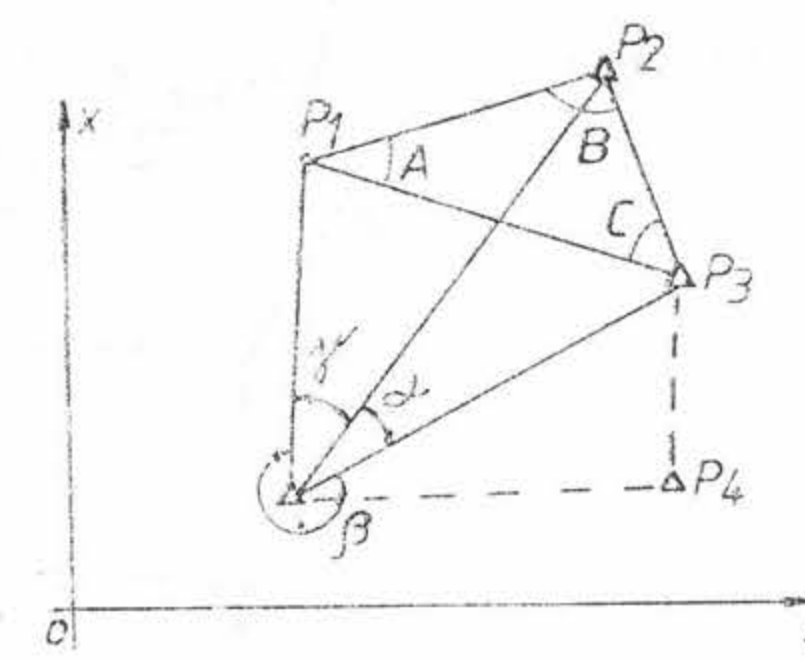


Fig. XV.20. Retrointersecția.

Coordonatele unui punct P_0 se obțin și în cazul în care sînt cunoscute coordonatele a trei puncte nestacionabile P_1 , P_2 , P_3 și unghiurile α și β măsurate în punctul P_0 (fig. XV.20).

Procedeeul cel mai simplu de rezolvare utilizează relațiile:

$$x_0 = \frac{p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3}{p_1 + p_2 + p_3}; \quad y_0 = \frac{p_1y_1 + p_2y_2 + p_3y_3}{p_1 + p_2 + p_3} \quad (3.16)$$

în care:

$$p_1 = \frac{1}{\operatorname{ctg} A - \operatorname{ctg} \alpha}; \quad p_2 = \frac{1}{\operatorname{ctg} B - \operatorname{ctg} \beta};$$

$$p_3 = \frac{1}{\operatorname{ctg} C - \operatorname{ctg} \gamma} \quad (3.17)$$

Se observă, că unghiurile A , B , C se obțin din orientările direcțiilor determinate de punctele cunoscute, iar între notații există corespondența evidențiată de figură.

Este obligatoriu a fi efectuată verificarea de teren cu rezolvarea intersecției dintr-o altă combinație de 3 puncte cunoscute în care cel puțin un punct să fie diferit de primele trei puncte. Valorile definitive ale coordonatelor punctului P_0 se obțin ca în cazul precedent.

Metoda traseelor poligonale. Este metoda prin care se determină coordonatele unor puncte noi pe baza măsurărilor de unghiuri și distanțe. Unghiurile și distanțele sînt elementele geometrice definite de o succesiune de puncte legate între ele sub formă poligonală (fig. XV.21).

Funcție de numărul și natura elementelor geodezice cunoscute ca mărimi date (coordonate, orientări), se cunosc mai multe tipuri de trasee poligonale (fig. XV.21) și anume:

— traseu poligonal cu două puncte fixe și două orientări fixe (a);

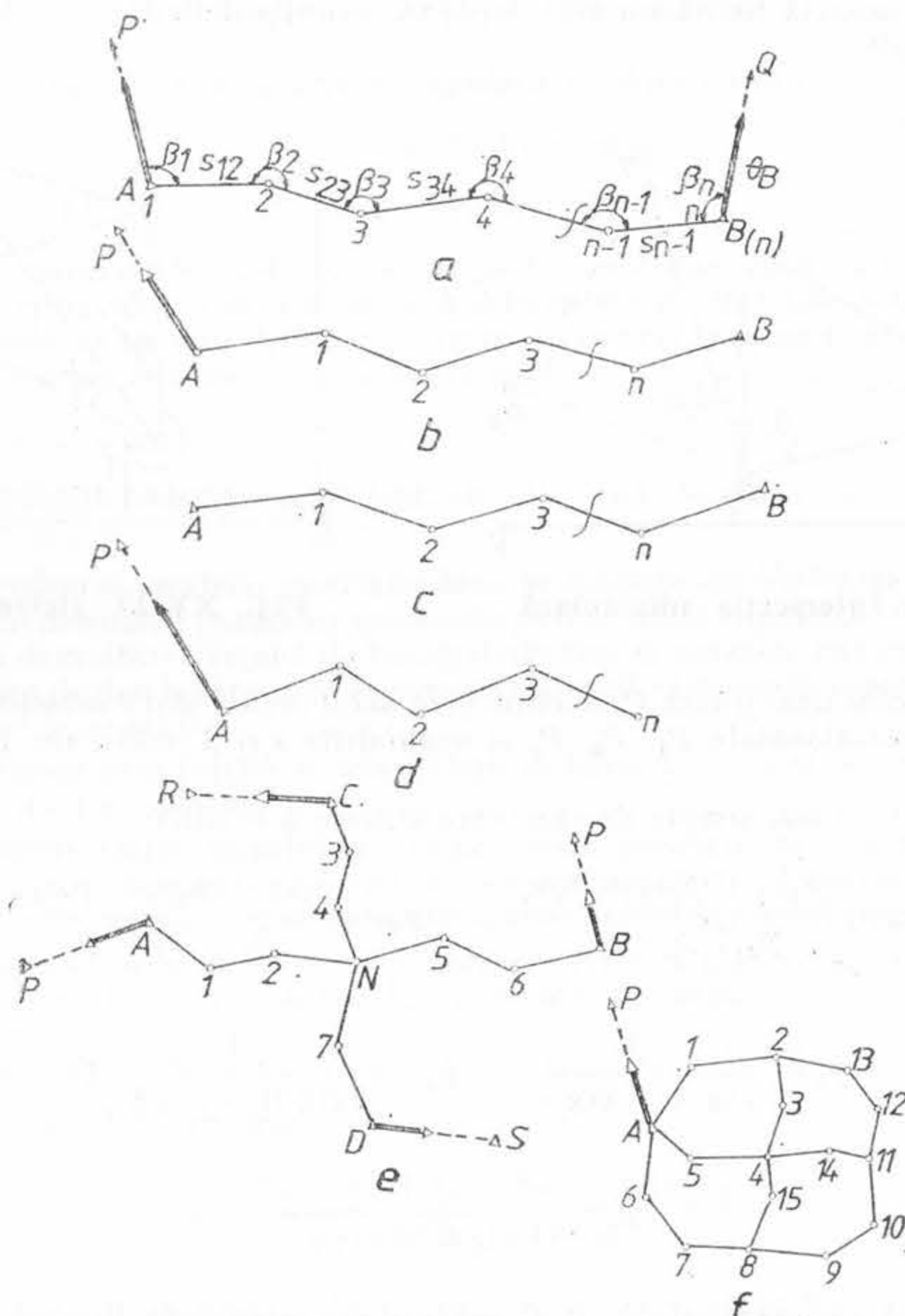


Fig. XV.21. Tipuri de trasee poligonale.

- traseu poligonal cu două puncte fixe și o orientare fixă (b);
- traseu poligonal cu două puncte fixe (c);
- traseu poligonal cu un punct fix și o orientare fixă (d);
- trasee poligonale cu un punct nodal sau mai multe puncte nodale (e);
- trasee poligonale acolate (f).

În dezvoltarea rețelelor de triangulație se întâlnesc frecvent trasee poligonale de tipul (a).

Aceste trasee realizează legătură între două puncte de triangulație de ordinul V, deci au o lungime medie de 2 km. Lungimea laturilor nu depășește 200 m, pentru a putea fi măsurate direct sau indirect cu dispozitivul autoreductor, în condiții de precizie ridicată.

Considerăm traseul poligonal cu punctele cunoscute (fixe) A și B și orientări fixe (cunoscute) θ_A și θ_B (fig. XV.21). Se notează unghiurile măsurate cu $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ și distanțele măsurate cu $s_{12}, s_{23}, \dots, s_{n-1,n}$.

Pentru determinarea coordonatelor punctelor ce formează traseul poligonal 2, 3, ..., n-1, se procedează astfel:

— se calculează orientările provizorii ale laturilor:

$$\theta'_{12} = \theta_A + \beta_1$$

$$\theta'_{23} = \theta'_{12} + \beta_2 = \theta'_{12} + \beta_2 \pm 200 = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 \pm 200$$

$$\theta'_{n-1,n} = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_{n-1} \pm (n-2) 200$$

$$\theta'_B = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n \pm (n-1) 200$$

— se stabilește diferența

$$\theta'_B - \theta_B = W_\beta$$

și se verifică condiția:

$$W_\beta \leq m_\beta \sqrt{n}$$

în care: m_β este eroarea medie pătratică de măsurare a unui unghi; n — numărul unghiurilor măsurate;

— se stabilește:

$$\frac{W_\beta}{n} = f_\beta$$

— se stabilesc orientările definitive:

$$\theta_{12} = \theta'_{12} + f_\beta$$

$$\theta_{23} = \theta'_{23} + 2f_\beta$$

$$\theta_{n-1,n} = \theta'_{n-1,n} + (n-1)f_\beta$$

— se stabilesc coordonatele provizorii ale punctelor

$$x'_2 = x_1 + s_{12} \cos \theta_{12}$$

$$y'_2 = y_1 + s_{12} \sin \theta_{12}$$

$$x'_B = x_1 + s_{12} \cos \theta_{12} + \dots + s_{n-1,n} \cos \theta_{n-1,n}$$

$$y'_B = y_1 + s_{12} \sin \theta_{12} + \dots + s_{n-1,n} \sin \theta_{n-1,n}$$

— se stabilesc diferențele:

$$x'_B - x_B = W_x; \quad y'_B - y_B = W_y$$

și se verifică condițiile:

$$W_x, W_y \leq \pm 5 \text{ cm } \sqrt{L}$$

unde L este lungimea traseului poligonal în sute de metri;

— se stabilesc

$$\frac{W_x}{[S]} = k_x; \quad \frac{W_y}{[S]} = k_y; \quad [S] = s_{12} + s_{23} + \dots + s_{n-1,n}$$

— se stabilesc coordonatele definitive

$$x_2 = x'_2 + s_{12} k_x$$

$$y_2 = y'_2 + s_{12} k_y$$

$$x_3 = x'_3 + (s_{12} + s_{23}) k_x$$

$$y_3 = y'_3 + (s_{12} + s_{23}) k_y$$

$$\dots \dots \dots$$

3.3. TRILATERAȚIA

Tehnica măsurătorilor de distanțe a evoluat și a cunoscut progrese importante în ultima perioadă. Construirea instrumentelor pe principii noi, bazate pe utilizarea undelor electromagnetice, electrooptice și undelor laser a permis lărgirea considerabilă a domeniului măsurătorilor de distanțe.

Astfel, este posibilă măsurarea în mod indirect a distanțelor de orice mărime cu mare precizie și în condiții mult variate. De asemenea, timpul în care sunt desfășurate operațiile de măsurare este relativ scurt, permițând o reducere considerabilă a perioadei de lucru în teren. Aceste avantaje permit înlocuirea cu mult succes a măsurătorilor unghiulare cu cele de distanțe, atât în probleme de triangulație geodezică cit și în probleme de dezvoltare a triangulațiilor geodezice. Înlocuirea măsurătorilor de unghiuri cu cele de distanțe în rețelele geodezice de sprijin a creat, implicit, metode noi de rezolvare a acestor rețele. A fost schimbată însăși denumirea, din rețele de triangulație în rețele de trilateratie.

3.3.1. COMPENSAREA LATURILOR ÎN REȚELELE DE TRILATERAȚIE

Compensarea mărimilor măsurate (laturilor) în scopul determinării valorilor lor probabile este, ca și în triangulație, operația de bază fără de care nu pot fi calculate coordonatele plane ale punctelor geodezice. Principiul compensării are la bază o relație

care leagă variațiile laturilor supuse compensării de variația unghiului dedus din ele. În consecință, condițiile geometrice impuse de o anumită formă de rețea sunt exprimate inițial în funcție de unghiurile ce intră în componența rețelei. Numărul acestor condiții este mult mai mic comparativ cu numărul necesar în rețelele de triangulație, mai ușor de stabilit și de scris.

Dacă rețeaua de puncte geodezice de forma unui poligon cu punct central (fig. XV.22) trebuie verificată prin metoda trilateratiei, deci în locul unghiurilor sunt măsurate laturile, numărul condițiilor geometrice se stabilește cu relația:

$$r = l - 2p + 3 \quad (3.18)$$

în care: l este numărul laturilor măsurate; p — numărul de puncte geodezice.

Înlocuind se obține:

$$r = 10 - 2 \cdot 6 + 3 = 1$$

Această condiție se referă la unghiurile din punctul P_6 și se numește *condiție de poligon cu punct central* și are forma:

$$(11) + (12) + (13) + (14) + (15) = 400'' \quad (3.19)$$

De regulă, pentru o formă simplă de rețea de trilateratie se scrie o condiție geometrică: condiție de patrulater, de unghi fix etc.

Folosind corecțiile unghiurilor din punctul P_6 , condiția (3.19) devine:

$$V_{11} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{15} + \omega = 0 \quad (3.20)$$

$$\text{unde: } \omega = 11 + 12 + 13 + 14 + 15 - 400$$

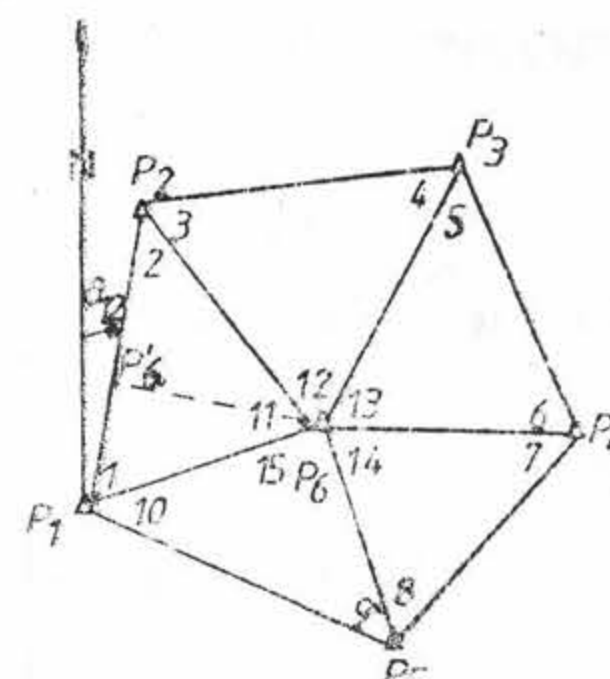


Fig. XV.22. Rețea de trilateratie.

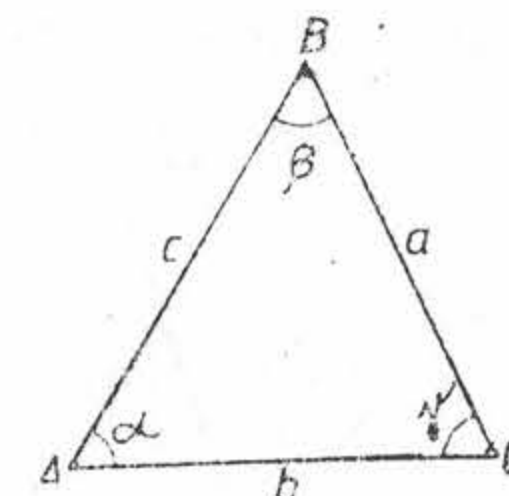


Fig. XV.23. Elementele unui triunghi.

Unghiurile 11., 12., ..., 15 sunt calculate din laturi, folosind relația generală:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad 2p = a + b + c \quad (3.21)$$

Notațiile din formula (3.21) corespund cu cele dintr-un triunghi general (fig. XV.23)

Prin logaritmare și diferențiere din (3.21) se obține o legătură între corecția unghiului α și corecțiile laturilor. Astfel :

$$V_{\alpha} = (A \cdot V_{12} + B \cdot V_{23} + C \cdot V_{31}) \rho^{cc} \quad (3.22)$$

unde :

$$\begin{aligned} A &= \frac{\sin \alpha}{4} \left(-\frac{1}{p} + \frac{1}{p-a} + \frac{1}{p-b} + \frac{1}{p-c} \right) \\ B &= \frac{\sin \alpha}{4} \left(-\frac{1}{p} - \frac{1}{p-a} - \frac{1}{p-b} + \frac{1}{p-c} \right) \\ C &= \frac{\sin \alpha}{4} \left(-\frac{1}{p} - \frac{1}{p-a} + \frac{1}{p-b} - \frac{1}{p-c} \right) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Considerind un sens de scriere (de la stînga la dreapta), corecțiile din (3.20) se obțin în funcție de corecțiile laturilor astfel :

$$\begin{aligned} V_{11} &= (A_1 V_{12} + B_1 V_{26} + C_1 V_{16}) \rho^{cc} \\ V_{12} &= (A_2 V_{23} + B_2 V_{36} + C_2 V_{26}) \rho^{cc} \\ V_{13} &= (A_3 V_{34} + B_3 V_{46} + C_3 V_{36}) \rho^{cc} \\ V_{14} &= (A_4 V_{45} + B_4 V_{56} + C_4 V_{46}) \rho^{cc} \\ V_{15} &= (A_5 V_{51} + B_5 V_{16} + C_5 V_{56}) \rho^{cc} \end{aligned} \quad (3.24)$$

Înlocuind egalitățile (3.24) în (3.20) rezultă :

$$\begin{aligned} &A_1 V_{12} + A_2 V_{23} + A_3 V_{34} + A_4 V_{45} + A_5 V_{51} + (B_1 + C_2) V_{26} + \\ &+ (B_2 + C_3) V_{36} + (B_3 + C_4) V_{46} + (B_4 + C_5) V_{56} + (B_5 + C_1) V_{16} = + \\ &+ \frac{\omega}{\rho^{cc}} = 0 \end{aligned} \quad (3.25)$$

Ecuația în corecțiile laturilor (3.25) se rezolvă conform teoriei măsurătorilor condiționate.

3.3.2. CALCULUL COORDONATELOR ÎN REȚELELE DE TRILATERAȚIE

În calculul coordonatelor punctelor se utilizează laturile compensate. Pentru calculul coordonatelor punctului P_6 (fig. XV.22) avem coordonatele punctelor P_1, P_2 și laturile de valori probabile $P_1 P_6$ și $P_2 P_6$. Se coboară o perpendiculară din P_6 pe $P_1 P_2$ în P'_6 . Utilizînd traseul $P_1 P'_6 P_6$ rezultă :

$$\begin{aligned} x_6 &= x_1 + P_1 P'_6 \cos \theta_{12} + P'_6 P_6 \sin \theta_{12} \\ y_6 &= y_1 + P_1 P'_6 \sin \theta_{12} - P'_6 P_6 \cos \theta_{12} \end{aligned} \quad (3.26)$$

unde :

$$\begin{aligned} P_1 P'_6 &= \frac{(P_1 P_6)^2 - (P_2 P_6)^2 + P_1 P_2}{2 P_1 P_2} \\ P'_6 P_6 &= \sqrt{(P_1 P_6)^2 - (P_1 P'_6)^2} \end{aligned} \quad (3.27)$$

3.3.3. DEZVOLTAREA REȚELELOR DE TRILATERAȚIE

Cele mai simple metode de determinare a coordonatelor unor puncte noi folosind distanțe măsurate sînt : metoda intersecției liniare simplă și metoda radierii.

Metoda intersecției liniare simplă. Este similară cu metoda intersecției unghiulare, cu deosebirea că în locul unghiurilor sînt măsurate distanțe.

Dacă sînt cunoscute coordonatele punctelor P_1, P_2 și distanțele de la aceste puncte la punctul P_0 (fig. XV.24), pot fi determinate coordonatele punctului P_0 . Pentru aceasta sînt utilizabile formulele (3.26) și (3.27).

Pentru verificarea coordonatelor este necesar un al treilea punct de coordonate cunoscute P_3 și distanța măsurată de la P_3 la P_0 . Se procedează în continuare ca în cazul intersecției unghiulare.

Metoda radierii. Utilizează unghiuri și distanțe (de orice mărime) măsurate.

Față de o direcție fixă $P_1 P_2$ (fig. XV.25), poziția punctului P_0 este bine determinată măsurînd unghiul α și distanța $P_1 P_0$.

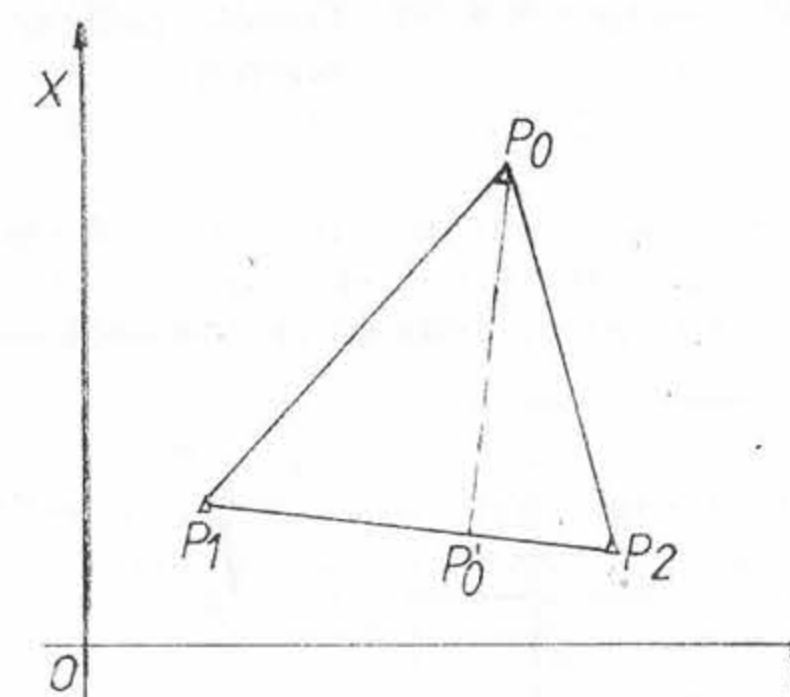


Fig. XV.24. Intersecția liniară simplă.

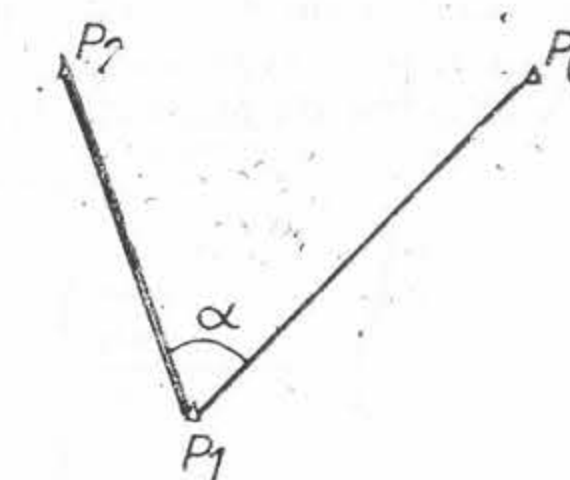


Fig. XV.25. Metoda radierii.

Măsurătorile de distanțe pe baza propagării undelor avînd o precizie mare, se impune ca și unghiurile să fie măsurate cu precizie de asemenea mare. În cazul laturilor mai lungi, pentru control și creșterea preciziei se măsoară, din punctul P_2 , unghiul β și distanța $P_2 P_0$, coordonatele definitive obținîndu-se din media aritmetică a celor două radieri.

3.4. POLIGONOMETRIA

Poligonometria constituie o metodă, ca și triangulația și trilaterăția, de determinare a punctelor geodezice de bază care formează rețelele geodezice de sprijin.

Cu ajutorul acestei metode se determină coordonatele plane ale unui șir de puncte dispuse sub forma unei linii poligonale, folosind unghiurile măsurate în aceste puncte și laturile măsurate dintre ele.

Metoda poligonometriei poate fi folosită în dublu scop și anume:

- pentru determinarea punctelor geodezice de sprijin al căror ordin corespunde cu ordinul punctelor geodezice determinate prin metodele triangulației și trilaterăției;
- pentru determinarea punctelor geodezice situate în interiorul rețelelor geodezice de sprijin, cunoscute ca puncte de dezvoltare și au ordinul IV—V.

Având în vedere particularitățile metodei, precum și condițiile de relief specifice zonelor miniere, determinarea punctelor geodezice de ordin inferior prin poligonometrie constituie o cerință practică în rezolvarea problemelor de topografie minieră.

3.4.1. REALIZAREA TRASEELOR ȘI REȚELELOR POLIGONOMETRICE

Poligonometria se realizează sub forma unor trasee poligonale simple (fig. XV.26) sau sub forma unor rețele de trasee poligonale (fig. XV.27).

La realizarea traseelor și rețelelor poligonometrice se are în vedere următoarele:

1) Traseele poligonale să fie întinse. Abaterea punctelor unui traseu de la linia de legătură între punctele de capăt nu trebuie să fie mai mare de $1/3$ din lungimea lui.

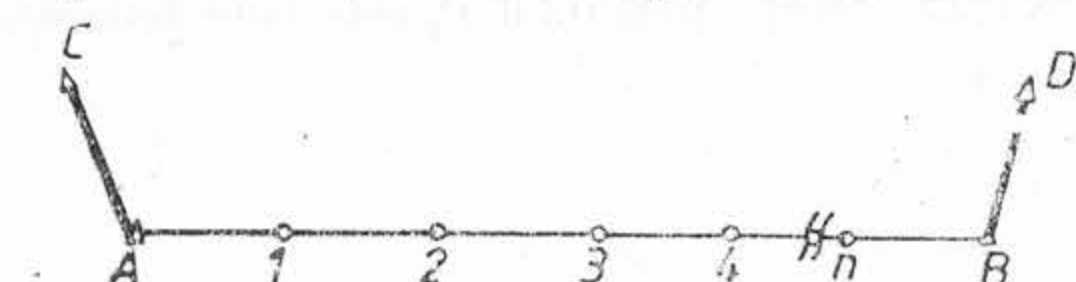


Fig. XV.26. Traseu poligonometric simplu.

2) Unghiurile măsurate în punctele traseelor poligonale nu trebuie să fie mai mici de 135° sau mai mari de 225° .

3) Eroarea de centrare în punctele de stație nu trebuie să depășească ± 1 mm.

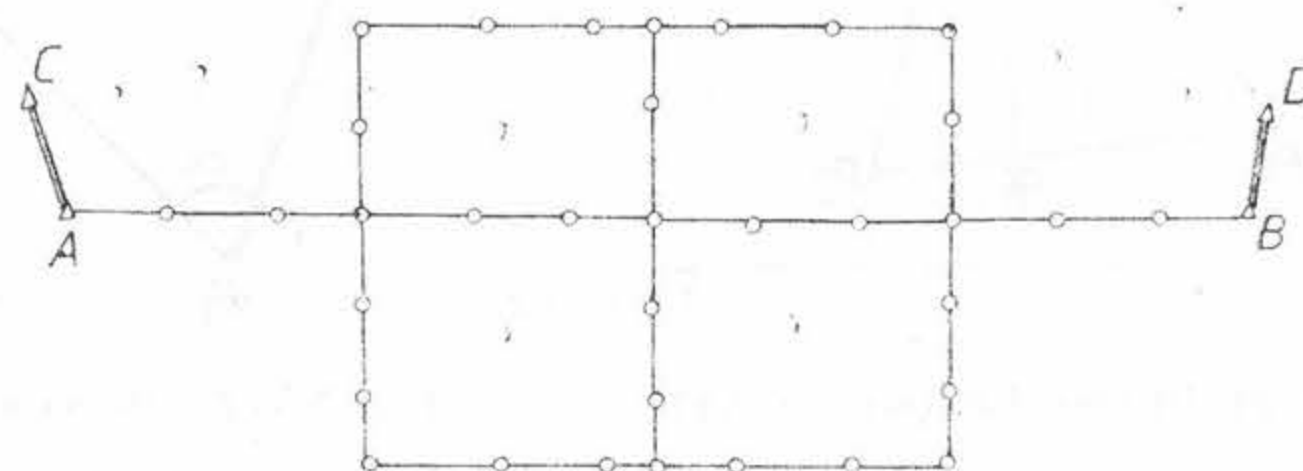


Fig. XV.27. Rețea poligonometrică.

4) Neînchiderea unghiulară nu poate depăși $6''\sqrt{n}$ (unde n este numărul unghiurilor măsurate).

5) Laturile se măsoară de două ori, diferența între măsurători nu trebuie să fie mai mare de $1:25\,000$ din lungimea lor.

3.4.2. CONDIȚII DE APLICARE. AVANTAJE ȘI DEZAVANTAJE

În general, metoda poligonometriei este folosită în următoarele situații:

- când punctele geodezice ce trebuiesc determinate au o dispunere longitudinală;
- când dezvoltarea rețelelor geodezice prin metodele triangulației și trilaterăției nu poate fi executată;
- când se cere transmiterea coordonatelor dintr-un punct cunoscut într-un punct nou.

Metoda poligonometriei, în comparație cu metodele triangulației și trilaterăției, prezintă o serie de avantaje și anume:

- costul lucrărilor este mai redus, datorită numărului redus de puncte pe aceeași suprafață și al randamentului ridicat;
- este mai flexibilă, pretindu-se mai mult la condiții de relief;

Dezavantajele metodei poligonometriei se referă la:

- posibilități reduse de control pentru verificarea măsurătorilor;
- posibilitățile de cumulare a erorilor pe orientări sînt mai mari.

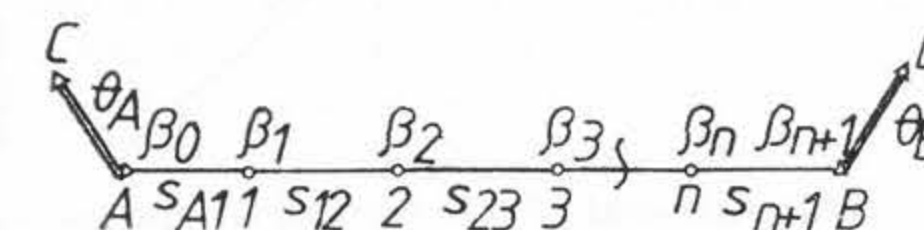
3.4.3. REZOLVAREA TRASEELOR ȘI REȚELELOR POLIGONOMETRICE

Rezolvarea traseelor și rețelelor poligonometrice presupune mai întîi compensarea măsurătorilor și după aceea determinarea coordonatelor punctelor.

Metoda cu aplicare largă în compensare este metoda măsurătorilor condiționate, datorită volumului mai redus de calcul în comparație cu metoda măsurătorilor indirecte.

Se consideră un traseu poligonometric (fig. XV.28) în care sînt date coordonatele punctelor A și B și orientările θ_A și θ_B , sînt măsurate unghiurile β și distanțele s .

Fig. XV.28. Elementele unui traseu simplu poligonometric.



Avînd în vedere că sînt măsurate în plus trei mărimi (unghiurile β_n , β_{n+1} și distanțele s_{nB}) vor exista 3 condiții geometrice care conduc la ecuațiile:

$$[V_\beta] + W_\beta = 0$$

$$[V_s \cos \theta] - \frac{1}{\rho''} [(y_B - y) V_\beta] + W_x = 0 \quad (3.28)$$

$$[V_s \sin \theta] + \frac{1}{\rho''} [(x_B - x) V_\beta] + W_y = 0$$

în care: V_β sînt corecțiile unghiurilor; V_s —corecțiile distanțelor; x, y —coordonele punctelor traseului poligonometric; W_x, W_y —neînchiderile pe coordonatele punctului B .

Sistemul de ecuații (3.28) se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate, în care scop se consideră:

$$\begin{aligned} - \text{ponderile unghiurilor } p_{\beta} &= \frac{1}{m_{\beta}^2} \\ - \text{ponderile distanțelor } p_s &= \frac{1}{m_s^2} \end{aligned} \quad (3.29)$$

unde m_{β} și m_s sunt erorile medii pătratice de măsurare a unghiurilor, respectiv distanțelor. Ponderile din (3.29) pot fi scrise și altfel:

$$p_{\beta} = \frac{1}{m_{\beta}^2}; \quad p_s = \frac{1}{(f\sqrt{s})^2}$$

sau:

$$p_{\beta} = 1; \quad p_s = \frac{\mu^2}{s}; \quad \left(\mu = \frac{m_{\beta}}{f} \right) \quad (3.30)$$

Cu ponderile din (3.30) și cu coeficienții corecțiilor din (3.28) notați literar cu a , b , c se obține sistemul de ecuații normale

$$\begin{aligned} \left[\frac{aa}{p} \right] k_1 + \left[\frac{ab}{p} \right] k_2 + \left[\frac{ac}{p} \right] k_3 + W_{\beta} &= 0 \\ \left[\frac{ba}{p} \right] k_1 + \left[\frac{bb}{p} \right] k_2 + \left[\frac{bc}{p} \right] k_3 + W_x &= 0 \\ \left[\frac{ca}{p} \right] k_1 + \left[\frac{cb}{p} \right] k_2 + \left[\frac{cc}{p} \right] k_3 + W_y &= 0 \end{aligned} \quad (3.31)$$

Din sistemul (3.31) rezultă corelatele k_1 , k_2 , k_3 cu care se determină corecțiile mărimilor măsurate. Astfel:

$$V_i = \frac{1}{p_i} (a_i k_1 + b_i k_2 + c_i k_3); \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.32)$$

unde N este numărul total al unghiurilor și laturilor măsurate.

Se calculează valorile compensate ale unghiurilor și distanțelor lor și în cele din urmă cu acestea se calculează coordonatele punctelor poligonometrice.

În cazul rețelelor poligonometrice important, în primul rând, este stabilirea numărului de condiții geometrice care, ca natură sînt, ca și în cazul precedent, condiții de unghiuri și de coordonate.

Se folosesc în acest scop relațiile:

$$\begin{aligned} - \text{condiții de unghiuri: } r_1 &= (P + R - 1) + Q \\ - \text{condiții de coordonate: } r_2 &= 2(P + R - 1) \end{aligned} \quad (3.33)$$

în care: P este numărul poligoanelor închise; R — numărul de puncte cunoscute în care există și orientări cunoscute; Q — numărul punctelor nodale cu orientări cunoscute. De exemplu, considerînd o rețea poligonometrică (fig. XV.29) cu:

$$P = 1; R = 4; Q = 1$$

se obține:

$$r_1 = 1 + 4 - 1 + 1 = 5$$

$$r_2 = 2(1 + 4 - 1) = 8$$

În scrierea condițiilor geometrice se aleg traseele care conțin cît mai puține necunoscute. Astfel:

— pentru condițiile de unghiuri traseele: AaB , CaB , Cb , Db , Aab ;

— pentru condițiile de coordonate traseele: AaB , CbD , AaC , BaD .

Corespunzător acestor condiții geometrice se scriu ecuații de erori de forma celor din (3.28), iar sistemul de ecuații format se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate, obținîndu-se corecțiile mărimilor măsurate.

În continuare se compensează unghiurile și distanțele, iar în final se calculează coordonatele punctelor.

Pentru punctele nodale trebuie să rezulte aceleași coordonate, indiferent de drumul parcurs pentru calculul acestora.

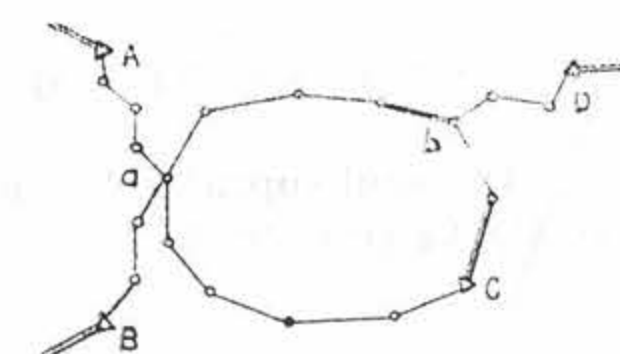


Fig. XV.29. Exemplu de rețea poligonometrică.

3.5. NIVELMENT

3.5.1. SUPRAFAȚA DE NIVEL ZERO. SUPRAFAȚA DE NIVEL. ALTITUDINI.

Altitudinile (cotele) punctelor de pe suprafața Pământului se determină față de suprafața de nivel zero, respectiv față de suprafața care coincide cu aceea a mărimilor deschise și oceanelor în starea lor de echilibru prelungită pe sub continente.

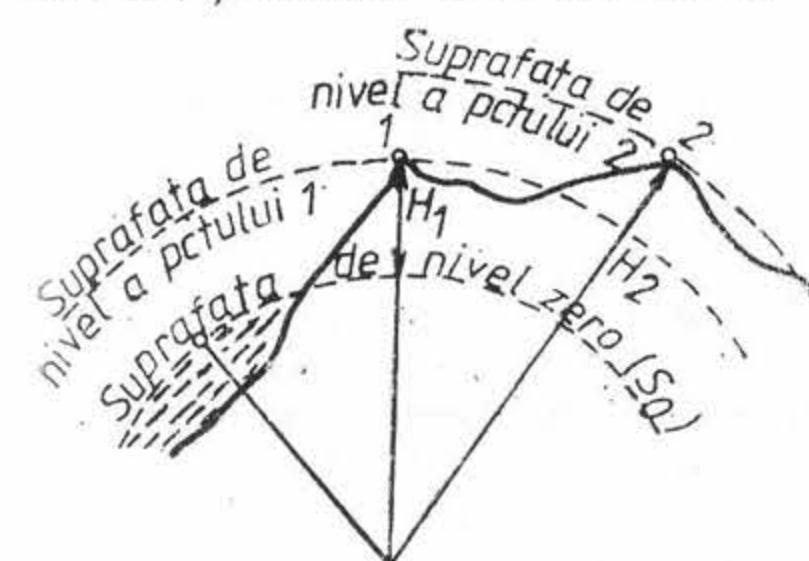


Fig. XV.30. Cotele punctelor în cazul suprafeței sferice de nivel.

Matematic, nivelul de echilibru este materializat prin puncte fixe aflate pe malul oceanelor și mărilor. La malul Mării Negre există un asemenea punct numit *zero fundamental*. Pornind de la acest punct se determină cotele tuturor punctelor situate în țara noastră.

Suprafața care este normală în fiecare punct al ei la direcția verticalei (la direcția forței gravitației) se numește *suprafață de nivel*.

Se numește *altitudine* sau *cotă absolută* a unui punct topografic, distanța în metri, pe verticală a punctului, cuprinsă între suprafața de nivel zero și suprafața de nivel ce trece prin

punctul considerat (cotele H_1 și H_2 din fig. XV.30).

Înălțimile raportate la o suprafață de nivel se numesc *relative*.

Suprafețele de nivel pot fi considerate sferice în cazul nivelmetrului desfășurat pe distanțe de ordinul kilometrilor sau plane atunci când se desfășoară pe întinderi mici.

3.5.2. CORECȚII DE NIVELMENT

În cazul suprafețelor de nivel sferice, asupra observațiilor de nivelment se aplică corecția C_t ce rezultă:

$$C_t = C_s - C_r$$

unde: C_s este corecția de sfericitate; C_r — corecția datorită refracției atmosferice.

Având în vedere că:

$$C_s = \frac{D^2}{2R} \text{ și } C_r = K \frac{D^2}{2R}$$

rezultă:

$$C_t = (1 - k) \frac{D^2}{2R}$$

unde: D este distanța între punctele de nivelment; R — raza Pământului egală aproximativ cu 6 379 km; K — coeficientul de refracție atmosferică egală cu 0,13.

3.5.3. FELURILE NIVELMENTULUI

În funcție de instrumentul și metoda utilizată, se deosebesc în principal următoarele feluri de nivelment: *geometric* și *trigonometric*.

Indiferent de felul nivelmentului, problema se pune în scopul obținerii pe bază de măsurători a diferenței de înălțime (diferență de nivel) între două puncte cu ajutorul căreia să rezulte:

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

Nivelmentul geometric se bazează pe principiul vizei orizontale a instrumentului.

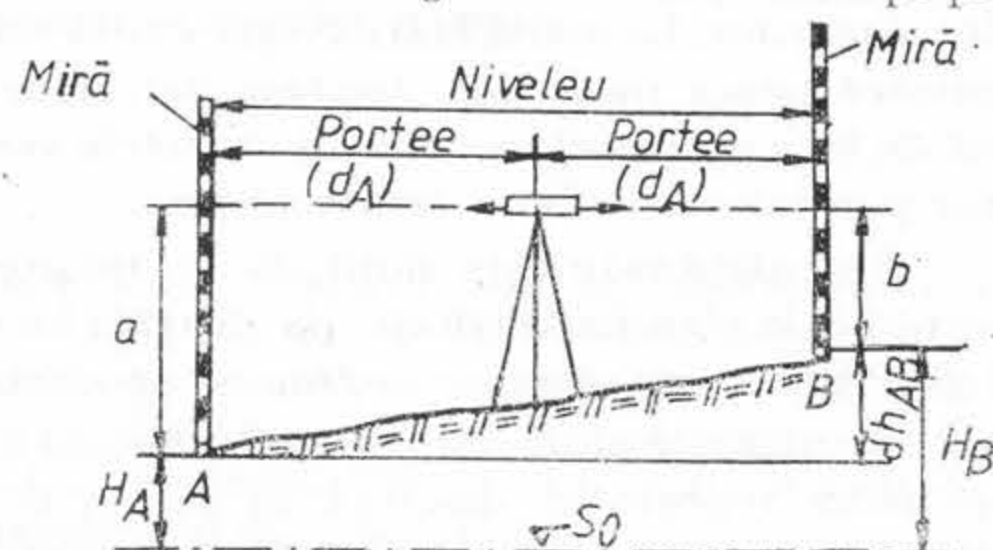


Fig. XV.31. Nivelment geometric.

Diferența de nivel h_{AB} dintre două puncte A și B se obține din diferența citirilor pe mire ținute vertical în punctele A și B , după ce s-a realizat orizontalitatea axei de vizare a instrumentului de nivelment (fig. XV.31). Distanța între punctele A și B nu trebuie să fie mai mare de 300 m.

Nivelmentul geometric este cel mai precis nivelment.

Nivelmentul trigonometric. Diferența de nivel dintre două puncte se determină cu ajutorul unghiului vertical (φ) măsurat cu teodolitul instalat într-unul din puncte.

Pe o miră gradată situată vertical în celălalt punct se poate citi la înălțimea instrumentului, în cazul distanțelor mici obținând:

$$h_{12} = D \operatorname{tg} \varphi$$

sau la baza semnalului propriu-zis al balizelor, piramidelor etc, în cazul distanțelor mari obținând:

$$h_{12} = D \operatorname{tg} \varphi + i - L + (1 - K) \frac{D^2}{2R}$$

unde: i este înălțimea aparatului, iar L — înălțimea semnalului.

4. LUCRĂRI DE TOPOGRAFIE MINIERĂ

Ansamblul de lucrări aferente prospectării, explorării, deschiderii, pregătirii și exploatarea zăcămintelor de substanțe minerale utile este condus din punct de vedere tehnico-ingineresc pe baza lucrărilor topografice miniere. Totalitatea acestor lucrări topografice, în cadrul unui bazin minier, trebuie să aibă un caracter unitar atât la suprafață cât și în subteran, în întreaga desfășurare a activității miniere.

Lucrările topografice miniere sînt diferențiate în lucrări *planimetrice* și lucrări *nivelitice*, în scopul constituirii osaturii de sprijin, și dependent de aceasta *redicarea topografică*, *proiectarea și conducerea în execuție a lucrărilor miniere*, *urmărirea efectelor fenomenelor de echilibrare a rocilor și deformarea suprafeței sub influența spațiului subteran* *exploatat* etc.

4.1. PLANIMETRIE SUBTERANĂ

Constă din lucrări topografice de determinare a coordonatelor (x, y) pentru punctele rețelei topografice subterane. În acest sens, la suprafața bazinului minier este constituită o rețea geodezică de sprijin formată din puncte de ordinul IV și V și o serie de puncte noi, încadrate în apropierea gurilor de acces în subteran.

Față de galeriile de coastă, punctele geodezice de sprijin nu trebuie să fie la o distanță mai mare de 150 m, iar față de puțurile verticale la mai mult de 30 m și aceasta pentru a permite, după caz, transmiterea sistemului planimetric de coordonate în subteran.

4.1.1. TRANSMITERI DE COORDONATE ȘI ORIENTĂRI ÎN SUBTERAN

Sistemul planimetric poate fi considerat transmis în subteran prin lucrări miniere atunci când în subteran au fost materializate cel puțin două puncte topografice la care s-au determinat coordonatele primului punct și orientarea dintre cele două puncte. Ale-

gera metodelor pentru transmiterea de coordonate și orientări se face funcție de tipul de lucrare minieră de acces în subteran. În general, sînt cunoscute mai multe posibilități, dintre care cele mai importante sînt: legătura prin galerie de coastă (plan înclinat, puț înclinat etc.); legătura prin două puțuri verticale de mină; legătura pe un singur puț vertical de mină.

4.1.1.1. Legătura pe galerie de coastă

Acest gen de legătură necesită la suprafață cunoașterea unui punct A , dat prin coordonatele sale planimetrice (x_A, y_A) și o orientare de pornire θ_0 , sprijinită pe acesta. Metoda de legătură utilizată este metoda radierii simple (fig. XV.32), care impune ca elemente măsurate: unghiul orizontal β_0 și distanța orizontală s_1 .

$$\text{Calculul orientării: } \theta_{A1} = \theta_0 + \beta_0 \quad (4.1)$$

$$\text{Calculul coordonatelor punctului radiat } \odot_1 \begin{cases} x_1 = x_A + s_1 \cos \theta_1 \\ y_1 = y_A + s_1 \sin \theta_1 \end{cases} \quad (4.2)$$

Ca atare, sistemul este bine stabilit în subteran prin orientare

$$\theta_{1A} = \theta_{A1} + 200^g \quad (4.3)$$

și coordonatele corespunzătoare punctului subteran $\odot_1 (x_1, y_1)$.

În subteran sînt constituite în continuarea radierii diferite tipuri de drumuri planimetrice tratate corespunzător (§ 4.1.3.1) (§ 4.1.3.2) (§ 4.1.3.4) sau în alte condiții (§ 4.1.3.5) și (§ 4.1.3.6).

Transmiterea erorilor punctuale și pe orientări este corespunzătoare metodei radierii simple (§ 4.1.1.1.).

Abaterile pe orientare $m_{\theta_{A1}}$ a laturii nou determinate θ_{A1} este dată de relația:

$$m_{\theta_{A1}} = \pm \sqrt{m_{\theta_0}^2 + m_{\beta_0}^2} \quad (4.4)$$

în care: m_{θ_0} este eroarea orientării inițiale luată din protocolul triangulației, sau expresiv:

$$m_{\theta_0} = \pm \frac{m_{x,y}}{D} \quad (4.5)$$

unde: $m_{x,y}$ este eroarea de încadrare a punctului vizat ($\max \pm 15 \text{ cm}$); D — lungimea vizei (de la punctul A la P); m_{β_0} — eroarea de măsurare a unghiului β_0 ; poate fi luată cu bune rezultate;

$$m_{\beta_0} = \pm (2 - 5) p_a \quad (4.6)$$

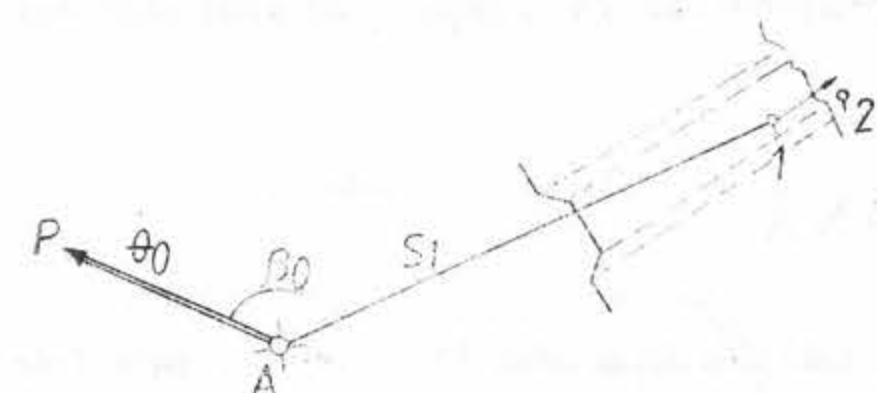


Fig. XV.32. Legătura prin galerie de coastă.

unde: (2—5) este coeficient de omogenizare, 2 pentru aparate mai puțin precise unde $p_a = \pm 50^{\text{cc}}$ și 5 pentru $p_a = \pm 2^{\text{cc}}$; p_a — precizia aparatului.

Abaterile pentru coordonate vor fi calculate cu relațiile:

$$m_{x1} = \pm \sqrt{m_{x_A}^2 + f^2 \Delta x_{A1}^2 + \Delta y_{A1}^2 \left(\frac{m_{\theta_{A1}}}{\rho^{\text{cc}}} \right)^2} \quad (4.7)$$

și

$$m_{y1} = \pm \sqrt{m_{y_A}^2 + f^2 \Delta y_{A1}^2 + \Delta x_{A1}^2 \left(\frac{m_{\theta_{A1}}}{\rho^{\text{cc}}} \right)^2}$$

unde: m_{x_A}, m_{y_A} sînt erorile de încadrare a punctului A , care pot fi luate cu aproximație

$$m_x = m_y = \pm \frac{15 \text{ cm}}{2} \quad (4.8)$$

$$f = \frac{1}{2000 - 5000} \text{ — eroarea unitară de măsurare a distanțelor:}$$

- pentru suprafață: $\frac{1}{5000}$
- pentru subteran: $\frac{1}{2000}$

(4.9)

Δx_{A1} și Δy_{A1} — sînt relativele pe x și respectiv pe y de la A pînă la punctul încadrat 1.

În mod corespunzător se va face studiul pentru drumurile în continuare (§ 4.1.3.1) (§ 4.1.3.4).

4.1.1.2. Legătura pe două puțuri verticale de mină

În apropierea fiecărui puț există din rețeaua de apropiere, cel puțin un punct și o orientare de sprijin. În fiecare puț se lestează cîte un fir (fig. XV.33) a căror coordonate în sistemul general al minei se determină cît mai precis prin metoda radierii simple (§ 4.1.1.1), coordonate care datorită proiectării rămîn aceleași și în subteran.

La nivelul orizontului subteran se constituie, între cele două puțuri, poligonația minieră (§ 4.1.2.3).

Transmiterea erorilor pe coordonate se face urmînd propagarea acestora de la punctele încadrate la suprafață prin radiere simplă (§ 4.1.1.1), lucrări de proiectare (§ 4.1.2) și poligonație minieră (§ 4.1.3.3.).

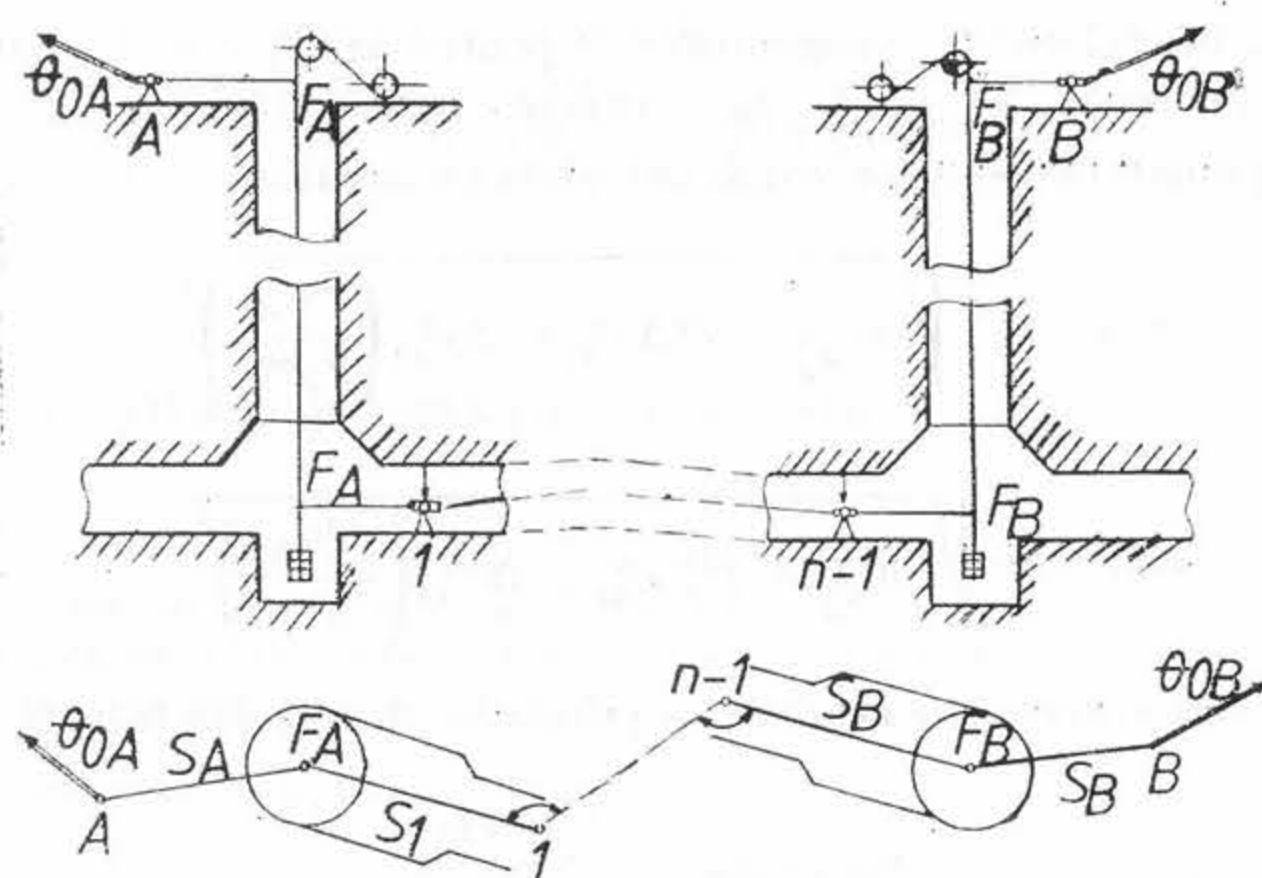


Fig. XV.33. Legătura prin două puțuri verticale de mină în subteran.

4.1.1.3. Legătura pe un singur puț vertical de mină

Se realizează prin lestarea, în secțiunea puțului, a două fire metalice cât mai îndepărtate între ele. Punctul încadrat la suprafață și cele două fire lestate vor forma un triunghi de legătură (fig. XV.34).

Triunghiul de legătură la suprafață. În apropierea fiecărui puț există cel puțin un punct încadrat din rețeaua de apropiere, necesar transmiterii de coordonate și orientări.

Elementele cunoscute sînt punctul $A(x_A, y_A)$ și orientarea inițială θ_0 .

Elementele măsurate:

- unghiurile β_I și β_{II} ;
- distanțele a , b și c — laturile triunghiului.

Se calculează coordonatele celor două fire F_1 și F_2 prin metoda radierii simple § 4.1.1.1., (§4. 2).

Orientarea dintre fire θ_{12} nu se va determina niciodată din coordonatele celor două fire, ci se va calcula prin însumarea la orientarea inițială a unghiurilor măsurate și calculate.

Se calculează:

$$\gamma = \beta_{II} - \beta_I \quad (4.10)$$

Funcție de forma triunghiului de legătură se aplică una din relațiile trigonometrice cunoscute, astfel:

— pentru triunghi alungit (γ foarte mic; α tinde către 200° și totodată β foarte mic, sau invers) se folosesc relațiile:

$$\sin \alpha' = a \frac{\sin \gamma}{c}; \quad \sin \beta' = b \frac{\sin \gamma}{c} \quad (4.11)$$

— pentru triunghi alungit isoscel (γ foarte mic; α și β tind către unghi drept) se folosesc relațiile:

$$\cos \alpha' = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \quad \cos \beta' = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \quad (4.12)$$

— pentru triunghi isoscel ce tinde către echilateral, se folosesc relațiile:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad \operatorname{tg} \frac{\beta'}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}} \quad (4.13)$$

în care: $p = \frac{a+b+c}{2}$

rezultînd astfel: α' și β' unghiuri calculate din elemente măsurate.

Se compensează unghiurile în triunghi:

$$\alpha' + \beta' + \gamma = 200^\circ \pm W \quad (4.14)$$

Unghiurile definitive vor fi:

$$\alpha = \alpha' \pm \frac{W}{2}; \quad \beta = \beta' \pm \frac{W}{2} \quad (4.15)$$

Se calculează orientarea dintre fire:

$$\theta_{12}'' = \theta_0 + \beta_I - \alpha + 200^\circ = \theta_0 + \beta_I + \beta \quad (4.16)$$

orientare ce rămîne aceeași și pentru subteran.

Triunghiul de legătură din subteran. Elementele cunoscute sînt cele determinate la zi și anume (fig. XV.35):

- perechile de coordonate pentru firele lestate $F_1(x_{F1}, y_{F1})$ și $F_2(x_{F2}, y_{F2})$;
- orientarea dintre fire θ_{12} .

Elementele măsurate identic ca la triunghiul de la suprafață:

- unghiurile β_I și β_{II} ;
- distanțele a , b și c — laturile triunghiului.

Se rezolvă triunghiul de legătură, astfel:

$$\gamma = \beta_{II} - \beta_I$$

Se calculează unghiurile α și β după forma triunghiului cu relațiile corespunzătoare (4.11), (4.12) sau (4.13) și se compensează după (4.14), (4.15).

Se calculează orientările către punctul subteran $\odot 501$

$$\theta_{F1, 501} = \theta_{12} - \beta; \quad \theta_{F2, 501} = \theta_{12} + \alpha + 200^\circ \quad (4.17)$$

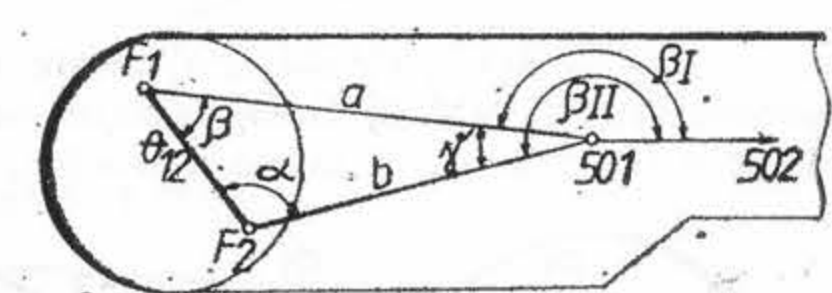


Fig. XV.35. Juncțiunea în subteran prin triunghi de legătură.

și orientarea laturii $\theta_{501, 502}$:

$$\theta_{501, 502} = \theta_{12} - \beta + \beta_1 + 200^\circ = \theta_{12} + \alpha \quad (4.18)$$

Orientări cu ajutorul cărora vor fi calculate coordonatele punctului $\odot 501$:

— din coordonatele firului F_1 rezultă:

$$\odot 501 \begin{cases} x_{501}^{F_1} = x_{F_1} + a \cos \theta_{F_1, 501} \\ y_{501}^{F_1} = y_{F_1} + a \sin \theta_{F_1, 501} \end{cases} \quad (4.19)$$

— din coordonatele firului F_2 rezultă:

$$\odot 501 \begin{cases} x_{501}^{F_2} = x_{F_2} + b \cos \theta_{F_2, 501} \\ y_{501}^{F_2} = y_{F_2} + b \sin \theta_{F_2, 501} \end{cases} \quad (4.20)$$

Valorile cele mai probabile vor fi mediile aritmetice ale celor două determinări:

$$x_{501} = \frac{x_{501}^{F_1} + x_{501}^{F_2}}{2}; \quad y_{501} = \frac{y_{501}^{F_1} + y_{501}^{F_2}}{2} \quad (4.21)$$

Legătura între rețeaua topografică de la suprafață și cele două fire lestate în secțiunea puțului, când condițiile permit, poate fi realizată și prin intermediul patrulaterului de legătură. Astfel, la suprafață sunt cunoscute fie un punct încadrat și o orientare și se mai alege un punct ajutător fie două puncte încadrate în rețeaua geodezică.

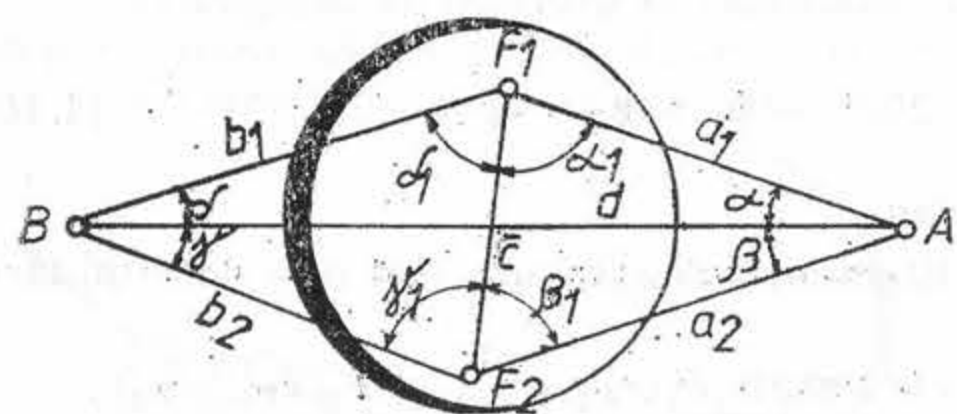


Fig. XV.36. Patrulater bilateral la suprafață.

Ca formă, patrulaterul poate fi bilateral (fig. XV.36), când cele două puncte se găsesc lateral față de firele lestate, sau unilateral (fig. XV.37), când cele două puncte se găsesc de o singură parte a firelor.

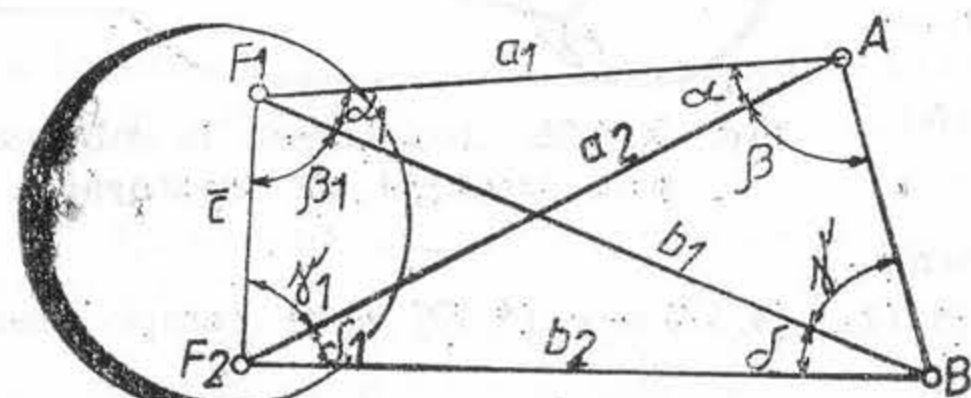


Fig. XV.37. Patrulater unilateral la suprafață.

Elementele cunoscute sînt: punctul A cu coordonatele plane (x_A, y_A) și orientarea θ_{AB} .

Elementele măsurate:

— unghiurile $\alpha, \beta, \gamma, \delta$;

— toate laturile posibile a_1, a_2, b_1, b_2, c, d .

Se calculează prin radiere simplă coordonatele punctului ajutător și coordonatele firelor F_1 și F_2 lestate în secțiunea puțului.

Se calculează mărimea unghiurilor cu vârful în firele lestate, fie prin aplicarea relațiilor corespunzătoare de la triunghiul de legătură (4.11) (4.16), utilizînd laturile măsurate și unghiurile, fie făcîndu-se apel la relațiile (4.22) — (4.25) utilizînd numai unghiurile măsurate:

— pentru patrulaterul bilateral:

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \alpha'_1 &= \frac{\sin \delta \sin (\beta + \gamma)}{\sin \gamma \sin (\alpha + \delta) \sin (\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg} (\alpha + \beta) \\ \operatorname{ctg} \beta'_1 &= \frac{\sin \gamma \sin (\alpha + \delta)}{\sin \delta \sin (\beta + \gamma) \sin (\alpha + \beta)} - \operatorname{ctg} (\alpha + \beta) \\ \operatorname{ctg} \gamma'_1 &= \frac{\sin \beta \sin (\alpha + \delta)}{\sin \alpha \sin (\beta + \gamma) \sin (\gamma + \delta)} - \operatorname{ctg} (\gamma + \delta) \\ \operatorname{ctg} \delta'_1 &= \frac{\sin \alpha \sin (\beta + \gamma)}{\sin \beta \sin (\alpha + \delta) \sin (\gamma + \delta)} - \operatorname{ctg} (\gamma + \delta) \end{aligned} \quad (4.22)$$

compensarea unghiurilor constînd în:

$$\begin{aligned} \alpha'_1 + \beta'_1 + \gamma'_1 + \delta'_1 &= 400 \pm W \\ \alpha_1 &= \alpha'_1 \mp \frac{W}{4}; \quad \beta_1 = \beta'_1 \mp \frac{W}{4}; \\ \gamma_1 &= \gamma'_1 \mp \frac{W}{4}; \quad \delta_1 = \delta'_1 \mp \frac{W}{4} \end{aligned} \quad (4.23)$$

— pentru patrulaterul unilateral:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 200^\circ - (\alpha + \beta + \gamma); \quad \delta_1 = 200^\circ - (\beta + \gamma + \delta) \\ \operatorname{ctg} \beta'_1 &= \frac{\sin \delta_1 \sin (\alpha + \beta)}{\sin \delta \sin \alpha_1 \sin \beta} - \operatorname{ctg} \delta; \quad \operatorname{ctg} \gamma'_1 = \frac{\sin \alpha_1 \sin (\gamma + \delta)}{\sin \gamma \sin \delta_1 \sin \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \end{aligned} \quad (4.24)$$

iar compensarea unghiurilor constînd în:

$$\begin{aligned} \beta'_1 + \gamma'_1 &= \beta + \gamma \mp W; \\ \beta_1 &= \beta'_1 \pm \frac{W}{2}; \quad \gamma_2 = \gamma'_2 \pm \frac{W}{2} \end{aligned} \quad (4.25)$$

Cu ajutorul acestora și a unghiurilor măsurate se calculează orientarea dintre fire, prin însumarea în mod corespunzător la orientarea cunoscută θ_{AB} .

Exemplu pentru patrulaterul bilateral :

$$\theta_{12} = \theta_{AB} + \alpha + \alpha_1 + 200^g \quad (4.26)$$

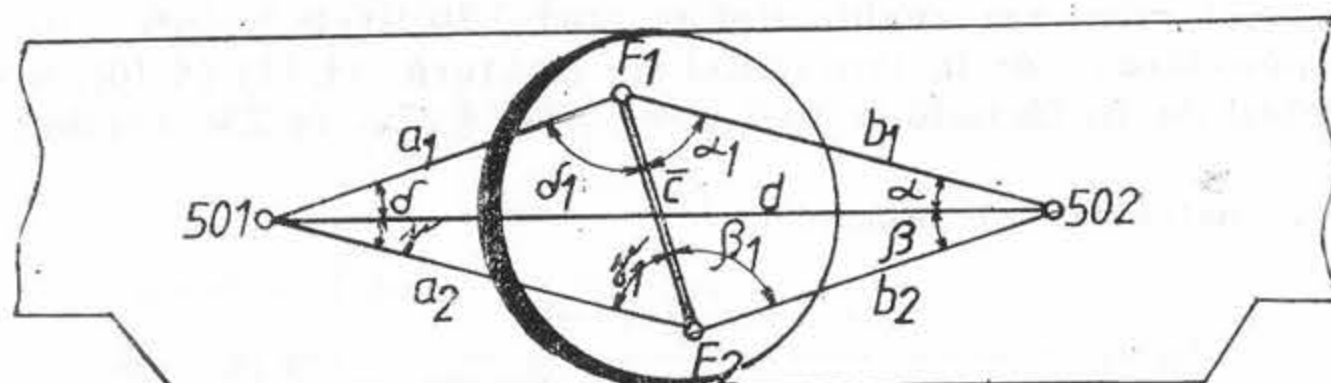


Fig. XV.38. Patrulater bilateral subteran.

sau pentru patrulaterul unilateral :

$$\theta_{12} = \theta_{AB} + \beta + \alpha + \alpha_1 + 200^g \quad (4.27)$$

În cazul legăturii în subteran se întâlnesc ambele cazuri de patrulater, atât bilateral (fig. XV.38) cât și unilateral (fig. XV.39).

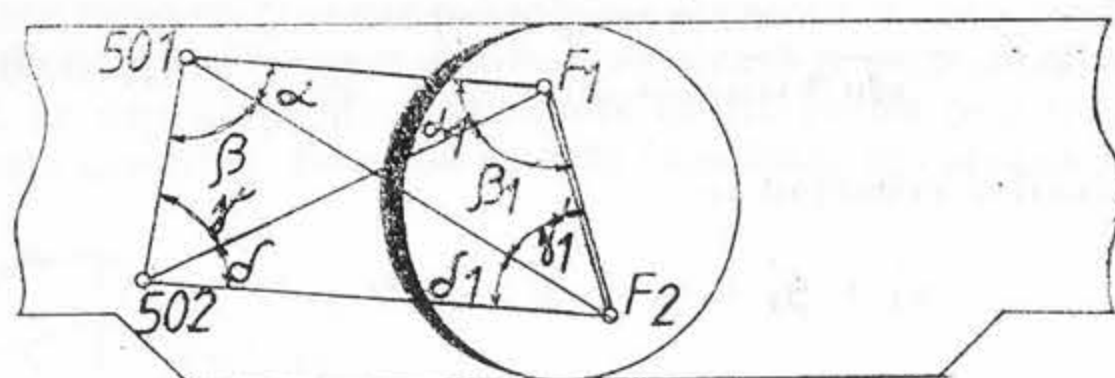


Fig. XV.39. Patrulater unilateral subteran.

Ordinea operațiilor se schimbă, deoarece se va rezolva mai întâi patrulaterul, rezultând orientările, după care se calculează coordonatele punctelor din coordonatele firelor lestate.

Relațiile de calcul fiind asemănătoare, vor fi adaptate situației

4.1.2. PROIECTAREA COORDONATELOR ȘI ORIENTĂRII PRIN LUCRĂRI MINIERE VERTICALE

Pentru a transmite sistemul de referință de la suprafață în subteranul minelor, este suficient să se transmită coordonatele unui punct topografic minier și orientarea unei laturi sprijinite pe acest punct. În raport cu condițiile și aparatura existentă pentru proiectarea de coordonate și orientări, sînt utilizate două metode și anume : *metoda mecanică* și *metoda optică*, iar pentru identificarea orientării în subteran sînt folosite : *metoda giroscopică* și *metoda magnetică*, utilizate de regulă în combinație cu metoda mecanică de proiectare de coordonate.

4.1.2.1. Metoda mecanică de proiectare a coordonatelor

În secțiunea liberă a unui puț vertical de mină — degrevat temporar de transport și aeraj (fig. XV.40) — se lansează un fir metalic 1 ce se găsește depozitat pe un tambur cu trolu 2 ghidat de un scripete 3 și un reper sub formă de coadă de rîndunică 4 — ambele așezate în turnul puțului. Firul este lestat cu o greutate constituită dintr-un taler 5 și greutăți calibrate 6, ansamblul cufundat într-un recipient avînd apă, rumeguș și ulei.

Firul metalic este de oicei din sîrmă feroasă sau alamă oțeloasă, rezistent la tracțiune și îndoire.

Așa cum s-a arătat, poziția planimetrică a firului este bine determinată la suprafață prin metoda radierii simple.

Datorită lungimii mari a firului (înălțimea puțului) firul va executa o serie de oscilații.

Poziția de echilibru va fi identificată prin efectuarea de observații pe riglele unui dispozitiv 7. Cele două rigle se găsesc aproximativ perpendiculare și sînt situate pe o coroană. O riglă este așezată perpendicular pe linia de viză a teodolitului plasat în punctul 501 (fig. XV.41), iar cealaltă riglă va fi observată în oglindă, tot cu ajutorul teodolitului. Firul se lasă să oscileze liber, observînd pe fiecare riglă cîte trei elongații maxime consecutive (M_1, M_2, M_3 și N_1, N_2, N_3). Poziția medie pe fiecare riglă va fi determinată expeditiv :

$$\text{— pe rigla } M : M_0 = \frac{M_1 + 2M_2 + M_3}{4} \quad (4.26)$$

$$\text{— pe riglă } N : N_0 = \frac{N_1 + 2N_2 + N_3}{4} \quad (4.27)$$

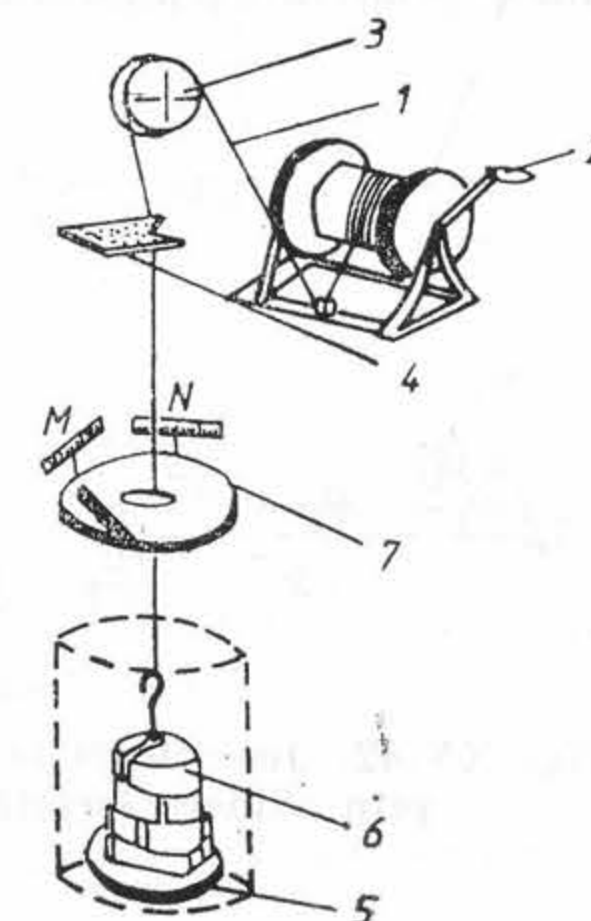


Fig. XV.40. Instalația mecanică de proiectare a coordonatelor pe puț vertical de mină.

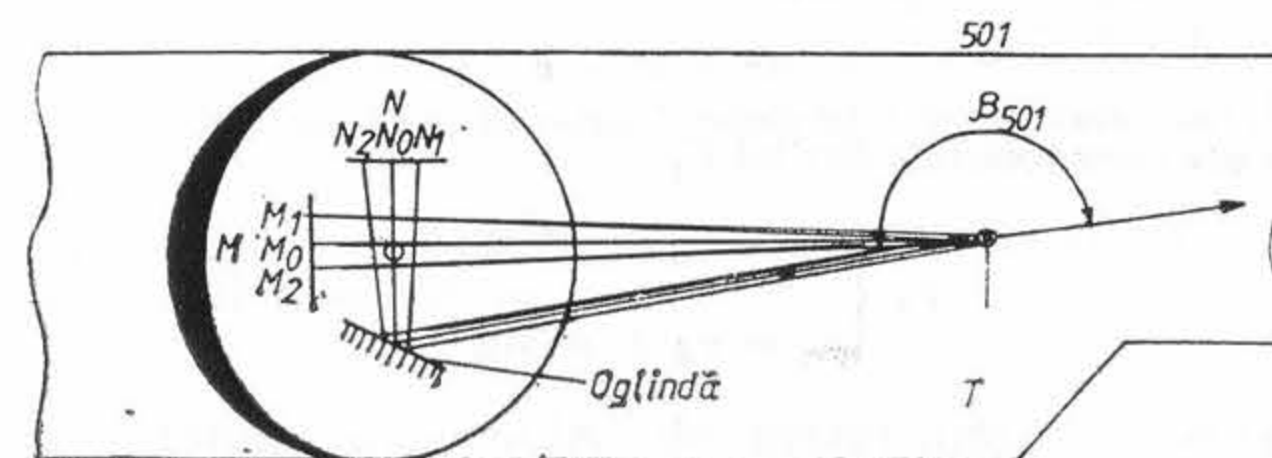


Fig. XV.41. Stabilirea poziției de echilibru a firului lestat.

Cu ajutorul unei prisme de centrare, firul va fi poziționat corespunzător citirilor M_0 și N_0 , poziție față de care vor fi efectuate măsurătorile de legătură cu punctele topografice subterane.

Pentru transmiterea unei orientări pe un singur puț de mină, operațiile descrise anterior vor fi aplicate pentru două fire (F_1 și F_2), legătura topografică efectuându-se după (§ 4.1.1.2), (§ 4.1.1.3) și (§ 4.1.3.3).

O metodă ce permite transmiterea simultană de coordonate și orientări, simplificând totodată modalitatea de legătură între rețeaua topografică de la suprafață cu operațiile de proiectare și legătura cu rețeaua topografică subterană este *metoda alinierii forțate*.

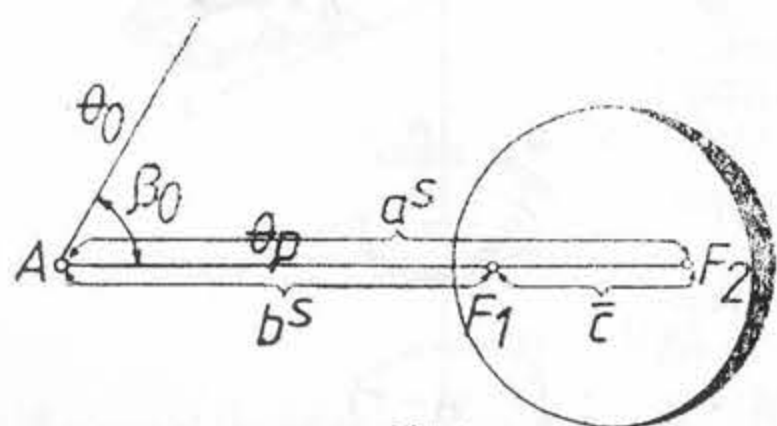


Fig. XV.42. Joncțiunea la suprafață prin aliniere forțată.

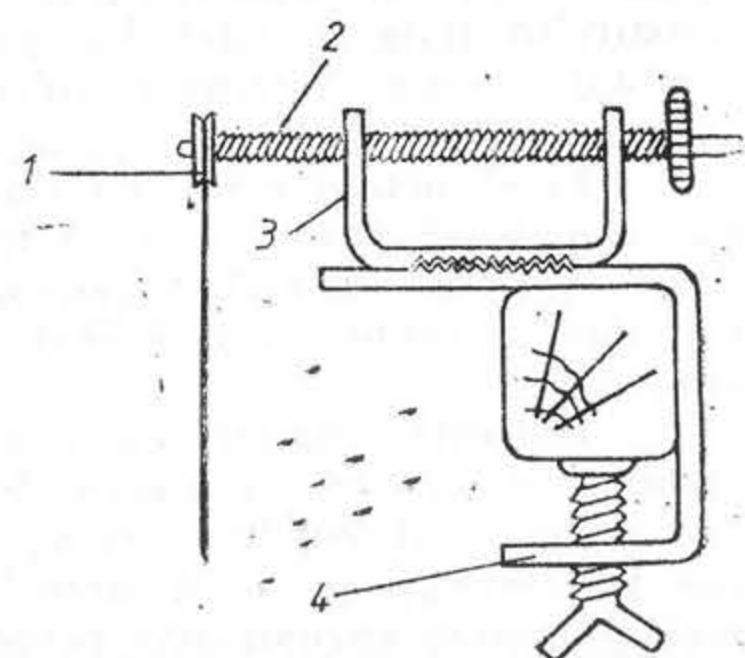


Fig. XV.43. Scripete glisant :
1 - scripete; 2 - șurub fără file; 3 - cameră ghidaj; 4 - sistem de prindere.

La suprafață, aproximativ pe direcția de transport a puțului, se încadrează un punct $A(x_A, y_A)$ cât mai îndepărtat de puț și cu posibilitatea de vizare a unei laturi de orientare θ_p cunoscute (fig. XV.42). Din acest punct trebuie să se poată viza două fire plasate coliniar cu punctul, în turnul puțului.

Firele lestate în puț vor fi ghidate cu cite un scripete glisant (fig. XV.43) prin deplasare laterală față de direcția θ_p .

Scripetele glisant va fi manevrat de un figurant situat în turnul puțului și va fi ghidat de operatorul din punctul A ; pentru început va fi poziționat firul depărtat F_1 , iar apoi firul apropiat F_2 . După terminarea acestei operații se vor măsura distanțele a , b și c cu care se va face o primă verificare :

$$a^s = b^s + \bar{c} \quad (4.28)$$

Se vor calcula coordonatele firului F_1 :

$$F_1 \begin{cases} x_1 = x_A + a^s \cos \theta_p \\ y_1 = y_A + a^s \sin \theta_p \end{cases} \quad (4.29)$$

eventual :

$$F_2 \begin{cases} x_2 = x_A + b^s \cos \theta_p \\ y_2 = y_A + b^s \sin \theta_p \end{cases} \quad (4.30)$$

Orientarea direcției (identică cu orientarea dintre fire) și coordonatele firului sînt elemente ce vor rămîne aceleași și pentru subteran (fig. XV.44).

În subteran va fi plasat, la o distanță cât mai mare de firele lestate, un teodolit așezat pe un trepied sau pe un dispozitiv de deplasare laterală a teodolitului. Se va deter-

mina, așa cum s-a arătat, poziția de echilibru a firelor, după care teodolitul va fi poziționat pe direcția θ_p , deci coliniar cu cele două fire F_2 și F_1 lestate în secțiunea puțului. Acest lucru poate fi realizat prin măsurarea deplasării dintre vizarea firelor (fig. XV.45) tangente pe dreapta primului fir F_1 și tangente pe stînga a aceluiași fir, poziția medie reprezentînd situarea coliniară a teodolitului cu cele două fire, deci plasarea sa pe direcția θ_p .

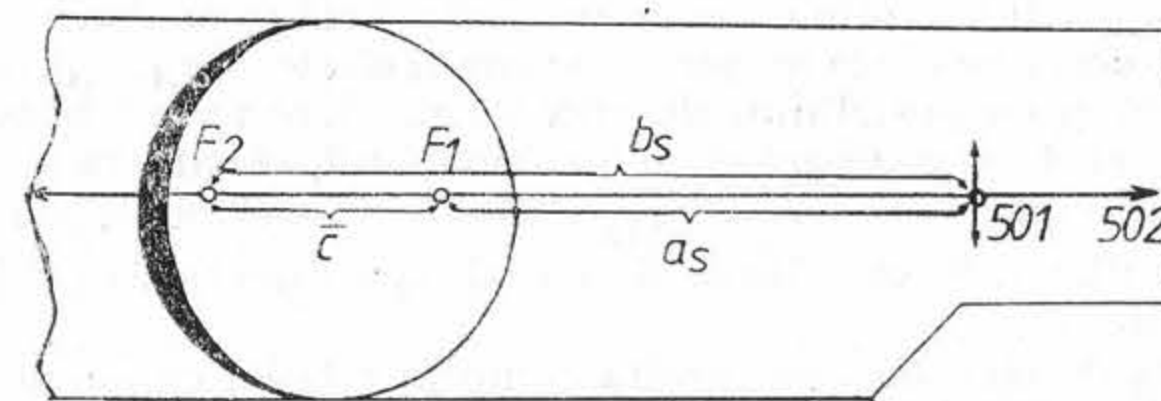


Fig. XV.44. Joncțiunea în subteran prin aliniere forțată.

Se măsoară distanțele a_s , b_s și \bar{c} și se fac două verificări ale distanței dintre fire \bar{c} în subteran, astfel ca aceasta să fie identică cu distanța \bar{c} de la suprafață și

$$b_s = a_s + \bar{c} \quad (4.31)$$

Orientarea θ_p va fi materializată în subteran prin plasarea a încă unui punct (\odot 502) îndepărtat în fața sau în spatele teodolitului.

Coordonatele punctului \odot 502 vor fi calculate din :

$$\begin{cases} x_{501} = x_1 + a_s \cos \theta_p = x_2 + b_s \cos \theta_p \\ y_{501} = y_1 + a_s \sin \theta_p = y_2 + b_s \sin \theta_p \end{cases} \quad (4.32)$$

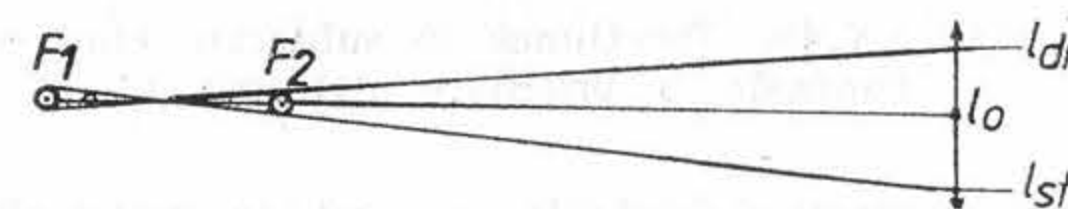


Fig. XV.45. Poziționarea teodolitului în aliniere forțată.

Această metodă, în aparență expeditivă, oferă o precizie destul de bună, cu condiția executării corecte a operațiilor.

4.1.2.2. Metoda giroscopică de determinare a orientării

Aparatul utilizat este *giroteodolitul* compus dintr-un giroscop — adaptat pentru lucrări topografice — atașat ghidat pe direcția de viză a unui teodolit de mare precizie. Giroscopul prezintă proprietatea că la o turație mai mare de 24 mii rot/min, asupra sa mai acționează doar forța de rotație a Pământului, fapt ce-i direcționează axa de rotație după meridianul locului. În aceste condiții întreg ansamblul giroscop-teodolit va indica pentru direcția vizată orientarea geografică θ_G . Cum însă în topografie interesează orien-

tarea geodezică a direcțiilor topografice de lucru, va fi necesar să fie determinată, pentru bazinul minier respectiv, convergența de meridian γ ca diferență între orientarea geografică θ_G și orientarea geodezică θ respectiv :

$$\gamma_G = \theta_G - \theta \quad (4.33)$$

În acest caz pot fi utilizate cu bune rezultate două procedee.

Procedeu practică. Se alege un punct de triangulație $A(x_A, y_A)$ plasat aproximativ în centrul bazinului și cu posibilități de viză lungă către un alt punct de triangulație $B(x_B, y_B)$. În punctul A se staționează cu giroteodolitul, se calează și se fac observații de determinare a orientării geodezice θ_{GAB} a laturii — conform indicațiilor prescriptuale a giroteodolitului utilizat. Se calculează din coordonate orientarea geodezică θ_{AB} a laturii vizate cu giroteodolitul.

Convergența de meridian va rezulta conform relației cunoscute (4.33).

Procedeu analitic. Se calculează convergența de meridian din diferențele de coordonate geodezice dintre centrul sistemului de coordonate și un punct cunoscut din bazinul minier :

$$\gamma = (\lambda - \lambda_0) \sin \varphi$$

relație în care : λ este longitudinea punctului din centrul bazinului minier ; λ_0 — longitudinea originii sistemului de coordonate ; φ — latitudinea punctului din centrul bazinului minier.

Cunoscând convergența de meridian (γ) — caracteristică bazinului minier respectiv — în subteran se va proceda astfel (fig. XV.46) :

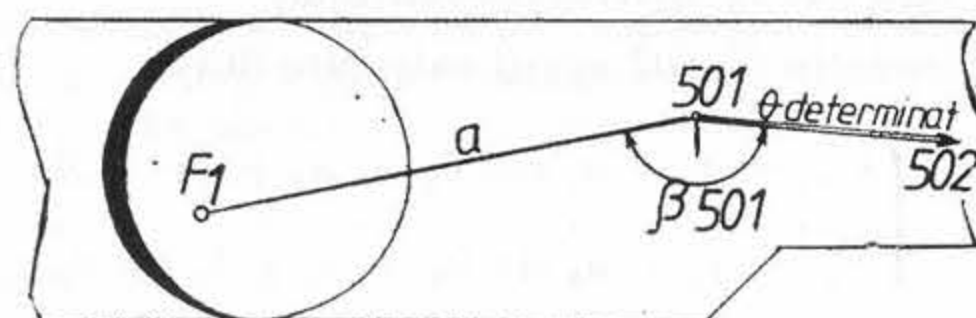


Fig. XV.46. Joncțiunea în subteran când se cunoaște o orientare determinată.

Se va face stație cu giroteodolitul într-un punct bine materializat $\odot 501$, vizându-se un punct $\odot 502$, determinându-se totodată orientarea geografică θ_G a laturii $\odot 501 \odot 502$.

Orientarea geodezică a laturii $\odot 501 \odot 502$ — conform relației — va fi :

$$\theta_{501, 502} = \theta_{G501, 502} - \gamma$$

Pe puțul vertical de mină au fost deja proiectate coordonatele firului $F_1(x_1, y_1)$, iar cu teodolitul la care este atașat giroscopul se măsoară unghiul β_{501} , unghi cu care se calculează împreună cu orientarea geodezică $\theta_{501, 502}$ orientarea $\theta_{1, 501} = \theta_{501, 502} + \beta_{501} + 200^\circ$, măsurând și distanța $a_{1, 501}$, coordonatele punctului $\odot 501$ rezultă :

$$\odot 501 \begin{cases} x_{501} = x_1 + a \cos \theta_{1, 501} \\ y_{501} = y_1 + a \sin \theta_{1, 501} \end{cases} \quad (4.34)$$

Se realizează astfel materializarea în subteran, transmiterea atât a coordonatelor cât și a orientării. Determinarea orientării se face cu o eroare de $\pm 30^\circ$.

4.1.3. DRUMUIRI PLANIMETRICE SUBTERANE

Cunoscute și sub denumirea de *poligonații subterane*, acestea sînt asemănătoare în mare, cu lucrările de același gen executate la suprafață. Ridicarea topografică a drumurilor subterane se face cu teodolite — cu posibilități de centrare sub punct — avînd o eroare de citire de cel mult $\pm 20^\circ$ pe limbul gradat orizontal. De regulă, pentru transmiterea orientării sînt utilizate teodolite cu o precizie de citire la cercul gradat orizontal de $\pm 2^\circ$, bine centrate în stație cu o eroare mică de punctare, avînd în vedere că vizele sînt scurte. Unghiurile orizontale vor fi măsurate în ambele poziții ale teodolitului, diferența între cele două măsurători nedepășind cea mai mică diviziune de pe limbul gradat (p_a — precizia aparatului). Distanțele se măsoară direct în mină, cu rulete din oțel de cel puțin trei ori în ambele sensuri, diferența între măsurători să nu depășească ± 1 mm.

la 50 m = $\frac{1}{50\,000}$, luîndu-se media măsurătorilor.

Periodic va fi controlată poziția reciprocă a punctelor fixe (principale, tari) din subteran — puncte de sprijin pentru poligonațiile planimetrice — constatînd dacă reechilibrarea rocilor în urma creării gurilor subterane nu a afectat poziția planimetrică a acestor puncte.

4.1.3.1. Poligonația cu două capete

— Prin *capăt de sprijin al unei poligonații* se definește ansamblul constituit dintr-un punct de coordonate cunoscute și o orientare sprijinită pe aceasta, de asemenea cunoscută.

Drumuirea cu două capete (fig. XV.47) este sprijinită pe capătul inițial constituit din punctul $A(x_A, y_A)$ cunoscut și orientarea inițială cunoscută θ_0 , și capătul final de închidere constituit din punctul $F(x_F, y_F)$ cunoscut și orientarea de închidere sau finală θ_f .

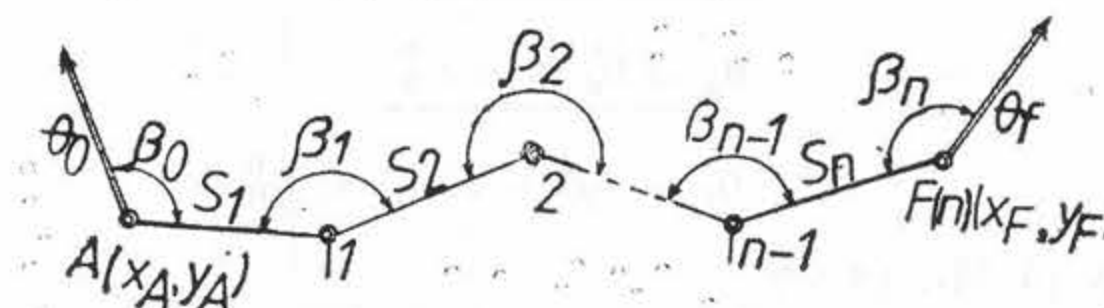


Fig. XV.47. Poligonația cu două capete.

Elementele măsurate sînt

- unghiurile $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_{n-1}, \beta_n$ în total $(n + 1)$ unghiuri ;
- distanțele orizontale $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{n-1}, s_n$; $[s]$ = lungimea desfășurată a poligonației.

Se calculează :

- orientările provizorii ;
- orientarea primei laturi notată către punctul vizat ;

$$\theta_{A1} = \theta'_1 = \theta_0 + \beta_0$$

$$\theta'_2 = \theta_0 + \beta_0 + \beta_1 + 200^g \quad (4.35)$$

$$\theta'_i = \theta_0 + [\beta]_0^{i-1} + (i-1) 200^g$$

$$\theta'_n = \theta_0 + [\beta]_0^{n-1} + (n-1) 200^g \quad (4.36)$$

— orientarea către punctul final F :

$$\theta'_f = \theta_0 + [\beta]_0^n + n \cdot 200^g \quad (4.37)$$

Datorită erorilor în măsurarea unghiurilor, va exista o neînchidere între orientarea finală cunoscută θ_f și orientarea finală (provizorie) calculată:

$$W_\theta = \theta_f - \theta'_f \quad (4.38)$$

Dacă neînchiderea pe orientări W_θ se încadrează în toleranța pe unghiuri dată de relația:

$$T_\beta = \pm 20^{\text{cc}} \sqrt{n+1} \quad \text{Dacă } W_\theta \leq T_\beta \quad (4.39)$$

atunci se poate proceda la compensarea pe orientări, proporțional cu numărul unghiurilor măsurate. Corecția pe unghi măsurat va fi dată de:

$$C_\theta^0 = \frac{W_\theta}{n+1} \quad (4.40)$$

cu ajutorul căreia pot fi compensate orientările:

$$\theta_1 = \theta'_1 + C_\theta^0 \quad (4.41)$$

$$\theta_2 = \theta'_2 + 2C_\theta^0$$

$$\theta_i = \theta'_i + i C_\theta^0 \quad (4.42)$$

$$\theta_n = \theta'_n + n C_\theta^0$$

$$\theta_f = \theta'_f + (n+1) C_\theta^0 \quad (4.43)$$

relație ce verifică (4.38), (4.40).

Cu orientările compensate pot fi calculate coordonatele provizorii ale punctelor curente ale drumirii:

$$\begin{cases} x'_1 = x_A + s_1 \cos \theta_1 \\ y'_1 = y_A + s_1 \sin \theta_1 \\ x'_2 = x_A + s_1 \cos \theta_1 + s_2 \cos \theta_2 \\ y'_2 = y_A + s_1 \sin \theta_1 + s_2 \sin \theta_2 \end{cases} \quad (4.44)$$

$$\begin{cases} x'_i = x_A + [s \cos \theta]^i \\ y'_i = y_A + [s \sin \theta]^i \end{cases}$$

$$\begin{cases} x'_F = x'_n = x_A + [s \cos \theta] \\ y'_F = y'_n = y_A + [s \sin \theta] \end{cases}$$

Datorită erorilor de măsurare a distanțelor vor exista neînchideri pe coordonate în punctul final:

$$W_x = x_F - x'_F; \quad W_y = y_F - y'_F \quad (4.45)$$

iar neînchiderea totală pe punct va fi:

$$W_{x,y} = \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (4.46)$$

care dacă va fi sub toleranță

$$T_{x,y} = \pm \left(0,003 \sqrt{[s]} + \frac{[s]}{2600} \right) \geq W_{x,y} \quad (4.47)$$

va putea fi efectuată compensarea pe coordonate, proporțional cu lungimea parcursă pînă în punctul respectiv; astfel, corecțiile unitare vor fi date de:

$$C_x^0 = \frac{W_x}{[s]} \quad (4.48) \quad C_y^0 = \frac{W_y}{[s]} \quad (4.49)$$

iar coordonatele compensate vor fi:

$$\begin{cases} x_1 = x'_1 + s_1 C_x^0 \\ y_1 = y'_1 + s_1 C_y^0 \\ x_2 = x'_2 + (s_1 + s_2) C_x^0 \\ y_2 = y'_2 + (s_1 + s_2) C_y^0 \\ x_i = x'_i + [s]^i C_x^0 \\ y_i = y'_i + [s]^i C_y^0 \\ x_F = x'_n + [s] C_x^0 \\ y_F = y'_n + [s] C_y^0 \end{cases} \quad (4.50)$$

$$\begin{cases} x_F = x'_n + [s] C_x^0 \\ y_F = y'_n + [s] C_y^0 \end{cases} \quad (4.51)$$

relații ce verifică (4.45) și (4.48).

Într-o astfel de poligonație poate fi ușor efectuat un studiu al erorilor de determinare a orientărilor și coordonatelor cu ajutorul următoarelor relații:

$$M_{0i} = \pm \frac{W_0}{n} \sqrt{i(n-i)} \quad (4.52)$$

$$\begin{aligned} M_{x_i} &= \pm \frac{W_x}{[S]} \sqrt{[S]^i ([S] - [S]^i)} \\ M_{y_i} &= \pm \frac{W_y}{[S]} \sqrt{[S]^i ([S] - [S]^i)} \end{aligned} \quad (4.53)$$

4.1.3.2. Poligonația cu un cap de sprijin și un punct de închidere

Are ca element inițial un cap de sprijin format dintr-un punct $A(x_A, y_A)$ și o orientare inițială θ_0 , și un punct de închidere $F(x_F, y_F)$ (fig. XV.48).

Vor fi măsurate următoarele elemente:

- unghiuri horizontale: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_{n-1} = n$ unghiuri;
- distanțe horizontale $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{n-1}, s_n = [s]$ lungimea orizontală desfășurată a traseului.

Calculul va consta din stabilirea orientărilor provizorii cu relațiile (4.35) și (4.36), orientări ce nu pot fi compensate, neexistând o orientare de închidere (o astfel de compensare poate fi efectuată dacă în prealabil s-a făcut măsurarea poligonației de la F la A cu închidere pe orientarea inițială θ_0).

Cu orientările provizorii vor fi calculate coordonatele provizorii cu relațiile (4.44), neînchiderile pe coordonate (4.45), (4.46) comparate cu toleranța pe coordonate (4.47) și efectuată compensarea pe coordonate cu (4.48) și (4.49).

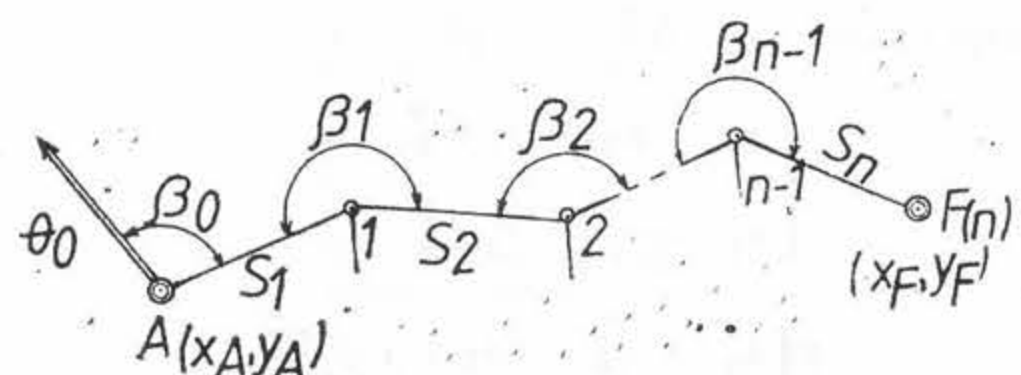


Fig. XV.48. Drumuirea cu un capăt sprijinit și un punct de închidere.

Studiul abaterilor punctuale ale punctelor poligonale va fi efectuat cu relațiile (4.51) și (4.53).

4.1.3.3. Poligonația minieră

Cunoscută sub denumirea de poligonație minieră, *drumuirea minieră* este utilizată pentru constituirea unui traseu principal de sprijin la nivelul unui orizont, atunci când transmiterea de coordonate se face de la suprafață cu câte un fir pe două puturi verticale.

Elementele cunoscute sînt punctul $A(x_A, y_A)$ și punctul de capăt $F(x_F, y_F)$. Elementele măsurate:

- unghiurile $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_{n-1} = (n-1)$ unghiuri;
- distanțe horizontale $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{n-1}, \dots, s_n, [s]$ lungimea orizontală desfășurată a poligonației.

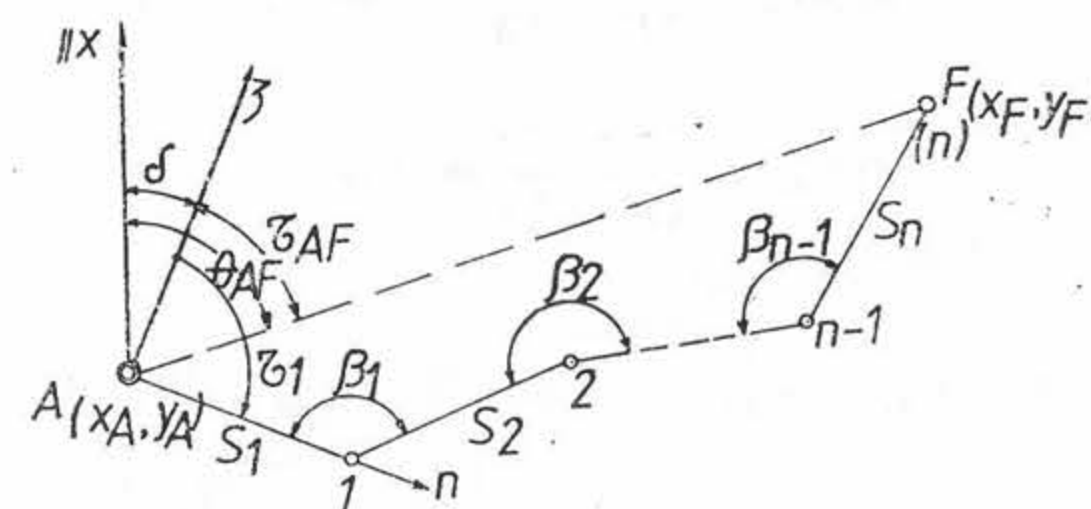


Fig. XV.49. Drumuirea minieră.

Necesitînd o orientare inițială de sprijin în sistemul general (x, y) , se face apel la un artificiu, alegîndu-se un sistem rectangular particular (ξ, η) plasat cu originea în primul punct al poligonației cu o axă pe prima latură a poligonației, astfel încît poligonația să se situeze pe cit posibil în primul cadran al sistemului particular. Conform figurii XV.49 se poate ușor observa că

$$\xi_A = 0; \eta_A = 0; \tau_1 = 100^\circ, \text{ (sau } \tau_1 = 0^\circ \text{)}$$

Calculul orientărilor în sistemul particular

$$\begin{aligned} \tau_1 &= 100^\circ \\ \tau_2 &= \tau_1 + \beta_1 + 200^\circ \\ \tau_i &= \tau_1 + [\beta]^{i-1} + (i-1) 200^\circ \\ \tau_n &= \tau_1 + [\beta]^{n-1} + (n-1) 200^\circ \end{aligned} \quad (4.54)$$

cu aceste orientări particulare pot fi calculate coordonatele în sistemul particular:

$$\begin{aligned} \begin{cases} \xi_1 = \xi_A + s_1 \cos \tau_1 \\ \eta_1 = \eta_A + s_1 \sin \tau_1 \end{cases} \\ \begin{cases} \xi_2 = \xi_A + s_1 \cos \tau_1 + s_2 \cos \tau_2 \\ \eta_2 = \eta_A + s_1 \sin \tau_1 + s_2 \sin \tau_2 \end{cases} \\ \begin{cases} \xi_i = \xi_A + [s \cos \tau]^i \\ \eta_i = \eta_A + [s \sin \tau]^i \end{cases} \\ \begin{cases} \xi_F = \xi_A + [s \cos \tau] \\ \eta_F = \eta_A + [s \sin \tau] \end{cases} \end{aligned} \quad (4.55)$$

Se observă că sînt cunoscute perechile de coordonate, atît în sistemul general x, y , cît și în sistemul particular (ξ, η) , ceea ce permite calculul unghiului de rotire dintre cele două sisteme. Astfel unind imaginar A cu F , se pot calcula orientările:

$$\operatorname{tg} \theta_{AF} = \frac{y_F - y_A}{x_F - x_A} \Rightarrow \theta_{AF} \quad (4.56)$$

$$\operatorname{tg} \tau_{AF} = \frac{\eta_F - \eta_A}{\xi_F - \xi_A} \Rightarrow \tau_{AF} \quad (4.57)$$

unghiul de rotire

$$\delta = \theta_{AF} - \tau_{AF} \quad (\text{sau } \delta = \tau_{AF} - \theta_{AF}) \quad (4.58)$$

de unde:

$$\theta_i = \tau_i + \delta \quad (\text{respectiv } \theta_i = \tau_i - \delta) \quad (4.59)$$

Ca atare, orientările în sistemul general ale laturilor poligonale vor fi:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \tau_1 + \delta & (\theta_1 &= \tau_1 - \delta) \\ \theta_2 &= \tau_2 + \delta & (\theta_2 &= \tau_2 - \delta) \\ \dots & \dots & \dots \\ \theta_i &= \tau_i + \delta & \text{sau } (\theta_i &= \tau_i - \delta) \\ \dots & \dots & \dots \\ \theta_F &= \tau_F + \delta & (\theta_F &= \tau_F - \delta) \end{aligned} \quad (4.60)$$

cu care pot fi calculate coordonatele provizorii în sistem general utilizînd relațiile (4.44), apoi neînchiderile pe coordonate în punctul F cu relațiile (4.45), (4.46), care vor fi comparate cu toleranța pe coordonate (4.47) și efectuată compensarea pe coordonate cu (4.48) și (4.49).

Un alt procedeu de calcul a coordonatelor în sistem general după găsirea unghiului de rotire (4.58), (4.59), este *procedeu transcalculului de coordonate* utilizînd relațiile corespunzătoare; astfel pentru (4.68)

$$\begin{cases} x_i = x_A + \xi_i \cos \delta + \eta_i \sin \delta \\ y_i = y_A + \xi_i \sin \delta + \eta_i \cos \delta \end{cases} \quad (4.61)$$

iar pentru (5.69)

$$\begin{cases} x_i = x_A + \xi_i \cos \delta - \eta_i \sin \delta \\ y_i = y_A + \xi_i \sin \delta + \eta_i \cos \delta \end{cases} \quad (4.62)$$

Calcul care nu prezintă controlul unitar asupra punctelor poligonale și nici compensarea coordonatelor.

Studiul abaterilor punctuale ale punctelor poligonale va fi efectuat cu relațiile corespunzătoare (4.51) și (4.53).

4.1.3.4. Poligonația flotantă

Cunoscută și sub denumirea de *poligonație suspendată*, poligonația flotantă (fig. XV.50) are un singur capăt de sprijin format dintr-un punct $A (x_A, y_A)$ de coordonate cunoscute și o orientare sprijinită pe aceasta θ_0 , de asemenea cunoscută.

Acest tip de poligonație este des utilizat în subteran, mai ales în cazul lucrărilor de străpungere.

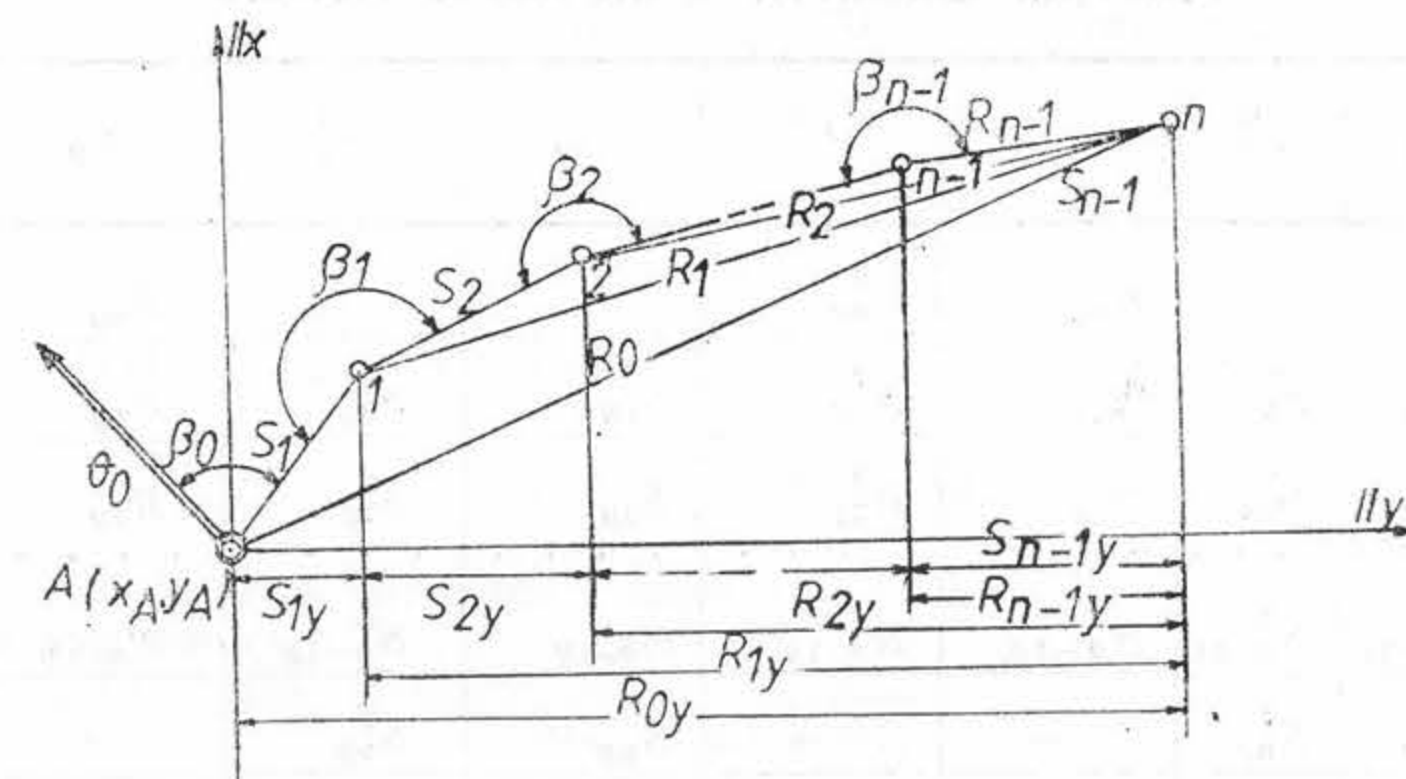


Fig. XV.50. Poligonația flotantă.

Elementele cunoscute sînt:

— punctul $A (x_A, y_A)$ și orientarea inițială de sprijin θ_0 .

Elementele măsurate:

— unghiurile $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_{n-1}$, în total n unghiuri;

— distanțele $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n$, lungimea orizontală desfășurată a traseului $[s]$.

Elementele calculate sînt:

— orientările provizorii prin intermediul relațiilor (4.35) și (4.36) cu ajutorul cărora vor fi calculate coordonatele provizorii ale poligonației flotante, prin intermediul relațiilor (4.44).

Necesitînd un control asupra punctului suspendat n , din drumuirea flotantă se efectuează fie remăsurarea și calculul poligonației înapoi către punctul inițial de sprijin pe același traseu, fie pe aceleași puncte, fie pe alte puncte, transformînd astfel poligonația într-o *poligonație cu două capete* (poligonație în circuit închis), punctul final fiind corectat cu jumătate din neînchiderea provenită prin parcurgerea dublă a traseului.

Studiul erorilor pe orientări și pe coordonate în poligonația flotantă se face prin metoda grafoanalitică. În acest sens se raportează poligonația flotantă pe un plan la o scară cît mai mare ($1/200 - 1/100$), adăugîndu-se eventual și străpungerea ce va fi efectuată. Se împart porțiunile rectilinii în segmente mai mici de 50 m (ruleta pentru măsurarea distanțelor are lungimea maximă de 50 m) indicînd noile puncte poligonale, iar curbele de racordare vor fi descompuse după planul de trasare în coarcele corespunzătoare de trasare prin punctele intermediare de conducere în curbă a lucrării în săpare. Din punctul final n al poligonației flotante vor fi trasate, către toate punctele poligonale, raze vectoriale care vor fi proiectate pe axele de coordonate. Vor fi, în

continuare, măsurate și trecute în tabelul următor proiecțiile distanțelor dintre puncte și ale razelor vectoriale pe ambele axe de coordonate (tabelul XV.3).

La tabel vor fi efectuate ridicările la pătrat și însumările corespunzătoare, cu ajutorul cărora vor fi calculate următoarele erori:

Tabelul XV.3

Proiecțiile distanțelor și ale razelor vectoriale

	S_x	S_x^2	R_x	R_x^2	S_y	S_y^2	R_y	R_y^2
A	—	—	R_{0x}	R_{0x}^2	—	—	R_{0y}	R_{0y}^2
1	S_{1x}	S_{1x}^2	R_{1x}	R_{1x}^2	S_{1y}	S_{1y}^2	R_{1y}	R_{1y}^2
2	S_{2x}	S_{2x}^2	R_{2x}	R_{2x}^2	S_{2y}	S_{2y}^2	R_{2y}	R_{2y}^2
...
$n-1$	S_{n-1x}	S_{n-1x}^2	R_{n-1x}	R_{n-1x}^2	S_{n-1y}	S_{n-1y}^2	R_{n-1y}	R_{n-1y}^2
n	S_{nx}	S_{nx}^2	—	—	S_{ny}	S_{ny}^2	—	—
[]	—	$[S_x^2]$	—	$[R_x^2]$	—	$[S_y^2]$	—	$[R_y^2]$

— eroarea datorită orientării inițiale:

● pe axa x -ilor

$$M_{\theta_{0x}} = \pm \frac{m_{\theta_0}}{\rho^{cc}} R_{0y} \quad (4.63)$$

relație în care m_{θ_0} este eroarea în determinarea orientării inițiale, eroare care este dată de relația:

$$m_{\theta_0} = \pm \frac{m_{x,y}}{D} \rho^{cc} \quad (4.64)$$

în care: $m_{x,y}$ este eroarea totală de încadrare a punctului vizat, care pentru minerit se ia ± 15 cm; D — lungimea vizei;

● pe axa y -ilor

$$M_{\theta_{0y}} = \pm \frac{m_{\theta_0}}{\rho^{cc}} R_{0x}, \quad (4.65)$$

iar eroarea totală pe orientări va fi:

$$M_{\theta_0} = \pm \sqrt{M_{\theta_{0x}}^2 + M_{\theta_{0y}}^2} \quad (4.66)$$

— eroarea datorită unghiurilor măsurate:

● pe axa x -ilor

$$M_{\beta_x} = \pm \frac{m_{\beta}}{\rho^{cc}} \sqrt{[R_y^2]} \quad (4.67)$$

în care: m_{β} este eroarea în măsurarea unui singur unghi; $m_{\beta} = \pm(2-5) p_a$ (factorul 2-5 se aplică astfel: 2 pentru aparate cu $p_a \pm 50^{cc}$ și 5 pentru aparate cu $p_a \pm 2^{cc}$);

● pe axa y -ilor

$$M_{\beta_y} = \pm \frac{m_{\beta}}{\rho^{cc}} \sqrt{[R_x^2]}, \quad (4.68)$$

iar abaterea totală datorită unghiurilor va fi:

$$M_{\beta} = \pm \sqrt{M_{\beta_x}^2 + M_{\beta_y}^2} \quad (4.69)$$

— eroarea datorită distanțelor măsurate va fi:

● pe axa x -ilor

$$M_{s_x} = \pm f \sqrt{[S_x^2]} \quad (4.70)$$

unde $f = \pm \frac{1}{3000-5000}$ eroarea în măsurarea distanțelor pentru subteran; (4.71)

● pe axa y -ilor

$$M_{s_y} = \pm f \sqrt{[S_y^2]}; \quad (4.72)$$

— eroarea totală datorită măsurătorii distanțelor va fi:

$$M_s = \pm \sqrt{M_{s_x}^2 + M_{s_y}^2} \quad (4.73)$$

Cunoscînd eroarea de încadrare a punctului inițial A , m_{Ax} , m_{Ay} , eroarea totală

● pe axa x -ilor va fi:

$$M_x = \pm \sqrt{m_{Ax}^2 + M_{\theta_{0x}}^2 + M_{\beta_x}^2 + M_{s_x}^2} \quad (4.74)$$

● pe axa y -ilor va fi:

$$M_y = \pm \sqrt{m_{Ay}^2 + M_{\theta_{0y}}^2 + M_{\beta_y}^2 + M_{s_y}^2} \quad (4.75)$$

iar eroarea totală va fi:

$$M_{x,y} = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (4.76)$$

În cazul străpungerilor front-contrafront, studiul abaterilor punctuale se face asupra ambelor poligonații flotante, rezultînd diferențiat erorile din ambele sensuri, care vor fi calculate separat pe axe în punctul de străpungere.

Cum însă la o străpungere interesează mai mult erorile longitudinale-transversale, poligonatelor i se atașează un sistem particular longitudinal-transversal (exemplu u, v), sistem în care se va face studiul asemănător sistemului general.

4.1.3.5. Rețea planimetrică nodală

Este constituită din mai multe trasee cu capete sprijinite, comune într-un punct de intersecție denumit *punct nodal*. În rețeaua planimetrică nodală (fig. XV.51) sînt cunoscute elementele topografice de sprijin constituite dintr-un punct de coordonate cunoscute și o orientare de sprijin.

$A(x_A, y_A), \theta_A; B(x_B, y_B), \theta_B$; și $C(x_C, y_C), \theta_C$

Elementele măsurate:

- unghiuri: traseul I $\beta_{10}, \beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{1i} = (i+1)$ unghiuri;
- traseul II $\beta_{20}, \beta_{21}, \beta_{22}, \dots, \beta_{2j} = (j+1)$ unghiuri;
- traseul III $\beta_{30}, \beta_{31}, \beta_{32}, \dots, \beta_{3k} = (k+1)$ unghiuri;
- distanțe: traseul I: $s_{10}, s_{12}, \dots, s_{1i}; [s]^i$ lungimea desfășurată a primului traseu;
- traseul II: $s_{21}, s_{22}, \dots, s_{2j}; [s]^j$ lungimea desfășurată a celui de al doilea traseu;
- traseul III: $s_{31}, s_{32}, \dots, s_{3k}; [s]^k$ lungimea desfășurată a celui de al treilea traseu.

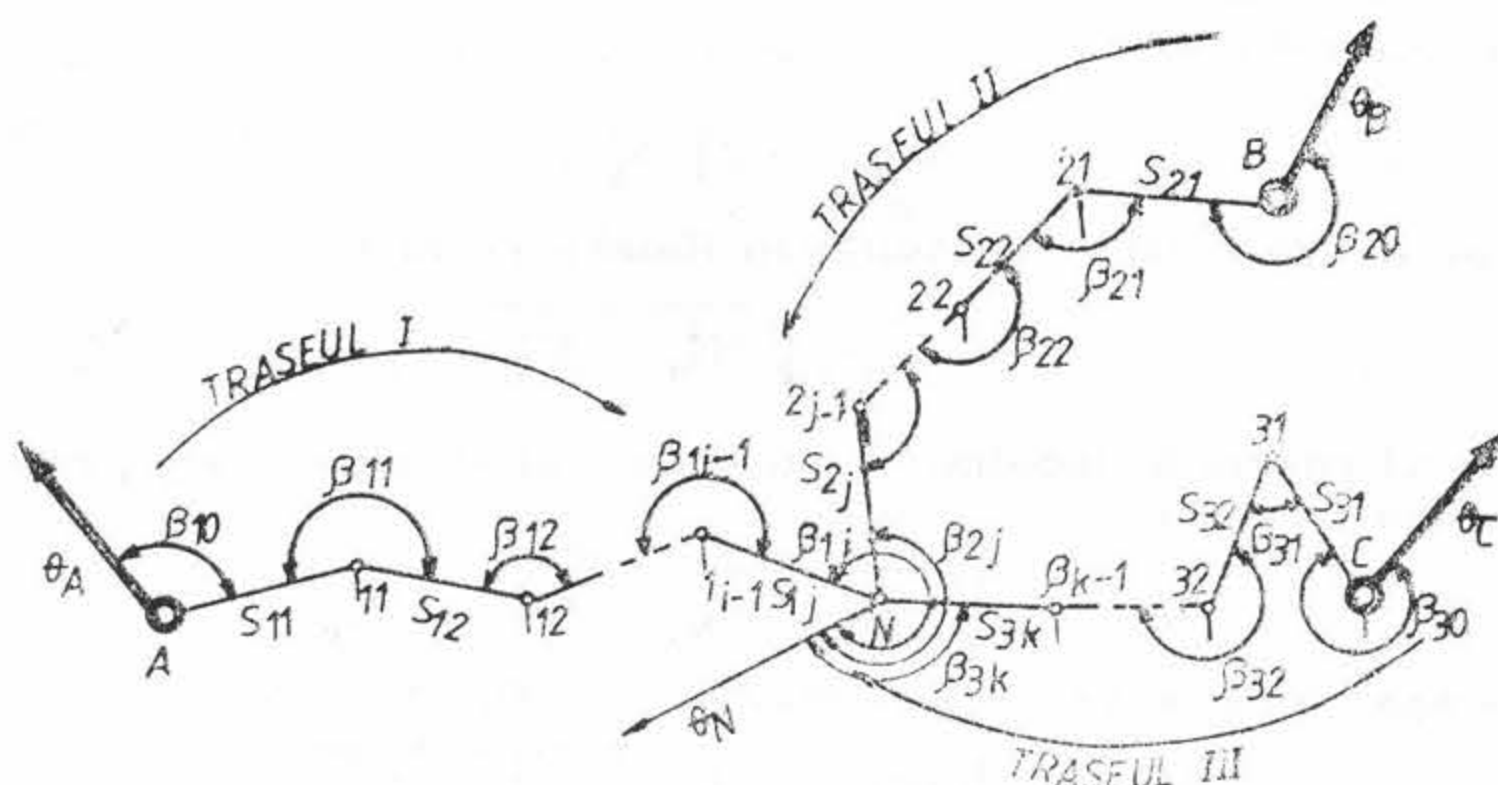


Fig. XV.51. Rețea planimetrică subterană.

Se calculează orientările provizorii pe fiecare traseu cu relațiile (4.2) și (4.3), rezultînd, pentru orientarea θ_N din punctul nodal, trei valori corespunzătoare traseului pe care au fost calculate:

$$\theta_N^I = \theta_A + [\beta_1]^i; \quad \theta_N^{II} = \theta_B + [\beta_2]^j; \quad \theta_N^{III} = \theta_C + [\beta_3]^k. \quad (4.77)$$

Cea mai probabilă valoare a orientării din punctul nodal va fi media ponderată a celor trei determinări, coeficienții de pondere vor fi corespunzători numărului de unghiuri ce au fost măsurate pe fiecare traseu în parte:

$$p_\beta^I = \frac{1}{i+1}; \quad p_\beta^{II} = \frac{1}{j+1}; \quad p_\beta^{III} = \frac{1}{k+1}. \quad (4.78)$$

atunci

$$\theta_N = \frac{p_\beta^I \theta_N^I + p_\beta^{II} \theta_N^{II} + p_\beta^{III} \theta_N^{III}}{p_\beta^I + p_\beta^{II} + p_\beta^{III}} \quad (4.79)$$

Se face compensarea pe fiecare traseu conform relațiilor (4.37)–(4.43), obținîndu-se orientările compensate pe întreaga rețea nodală, orientări cu care vor fi calculate coordonatele provizorii pentru fiecare traseu în parte cu relațiile (4.44), inclusiv coordonatele punctului nodal corespunzător pentru fiecare traseu poligonal în parte, rezultînd:

$$\begin{cases} x_N^I = x_A + [s_1 \cos \theta_1]^i \\ y_N^I = y_A + [s_1 \sin \theta_1]^i \\ x_N^{II} = x_B + [s_2 \cos \theta_2]^j \\ y_N^{II} = y_B + [s_2 \sin \theta_2]^j \\ x_N^{III} = x_C + [s_3 \cos \theta_3]^k \\ y_N^{III} = y_C + [s_3 \sin \theta_3]^k \end{cases} \quad (4.80)$$

Cele mai probabile valori ale coordonatei x (4.82) și ale coordonatei y (4.83) vor fi date de media aritmetică ponderată a celor trei valori corespunzătoare celor trei trasee, cu coeficienții de pondere rezultați din inversul lungimii fiecărui traseu.

$$p_{x,y} = \frac{1}{[s]^i}; \quad p_{x,y} = \frac{1}{[s]^j}; \quad p_{x,y} = \frac{1}{[s]^k} \quad (4.81)$$

$$x_N = \frac{p_{x,y}^I x_N^I + p_{x,y}^{II} x_N^{II} + p_{x,y}^{III} x_N^{III}}{p_{x,y}^I + p_{x,y}^{II} + p_{x,y}^{III}} \quad (4.82)$$

și, respectiv

$$y_N = \frac{p_{x,y}^I y_N^I + p_{x,y}^{II} y_N^{II} + p_{x,y}^{III} y_N^{III}}{p_{x,y}^I + p_{x,y}^{II} + p_{x,y}^{III}} \quad (4.83)$$

Între coordonatele punctului nodal astfel calculate și coordonatele provizorii va exista o diferență (conform 4.45 și 4.46) care dacă va îndeplini condiția de toleranță (4.47) va fi repartizată tuturor punctelor pe fiecare traseu în parte, conform cu (4.48) și (4.49).

Studiul abaterilor pe orientări și punctuale se va face cu ajutorul relațiilor (4.50)–(4.53).

4.1.3.6. Rețea planimetrică acolată

Această rețea planimetrică este des întâlnită în subteran la nivelul unui orizont de mină, fiind constituită dintr-un număr de ochiuri poligonale închise adiacente (fig. XV.52), având comun atât laturi (BD , Dd , de etc.) cit și puncte poligonale (d , e , k etc.) și nodale (A , B , C , D).

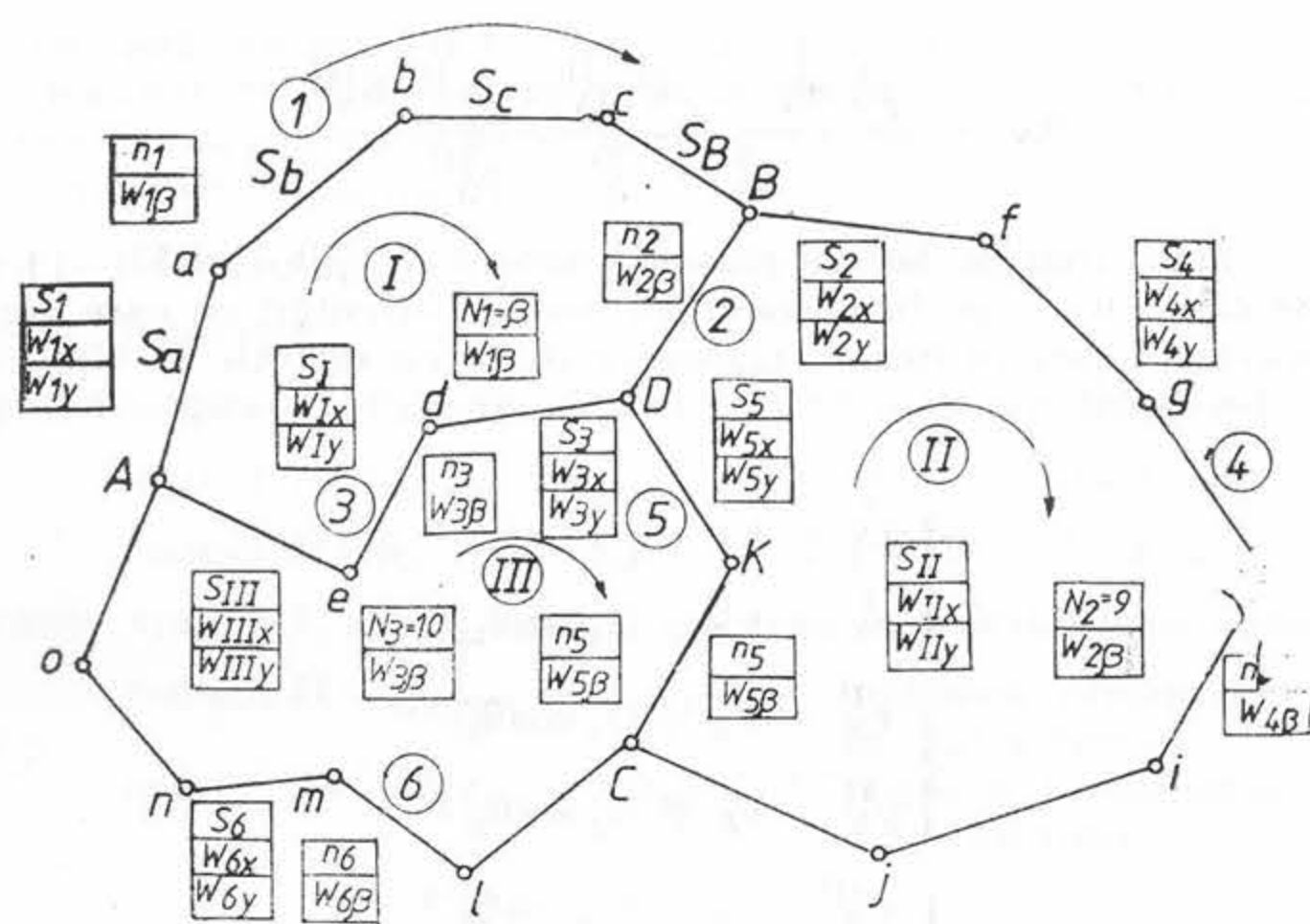


Fig. XV.52. Rețea planimetrică acolată.

Elementele măsurate sînt: direcții — din diferența cărora vor rezulta unghiuri și — distanțe orizontale, corespunzătoare fiecărei laturi poligonale.

Alegînd o orientare cunoscută sau arbitrară, vor fi calculate orientările provizorii, cu relațiile cunoscute (4.45), (4.46) în fiecare ochi în parte, după sensul general de parcurgere.

Suma orientărilor (direcții inverse sau duble) în fiecare ochi poligonal ar trebui să fie nulă, dar datorită erorilor de măsurare va exista corespunzător o neînchidere pe orientări.

$$\begin{aligned} W_{I\beta} &= [\theta']_I & W_{I\beta} &= (N_I - 2) \cdot 200'' - [\beta]_I \\ W_{II\beta} &= [\theta']_{II} & \text{sau: } W_{II\beta} &= (N_{II} - 2) \cdot 200'' - [\beta]_{II} \\ W_{III\beta} &= [\theta']_{III} & W_{III\beta} &= (N_{III} - 2) \cdot 200'' - [\beta]_{III} \end{aligned} \quad (4.83)$$

Rezultă un număr de ecuații de condiții corespunzătoare numărului de ochiuri. Acest sistem al ecuațiilor de condiții va fi redus la un sistem normal de ecuații Gauss), corelat specific măsurătorilor condiționate ponderate. Coeficienții de pondere vor fi funcție de numărul de unghiuri măsurate (numărul de laturi dublu orientate).

$N_1 = 4 =$ numărul laturilor dublu orientate pe secțiunea AB ,

$N_2 = 1$; $N_3 = 3$; $N_I = n_1 + n_2 + n_3 = 8 =$ numărul de laturi dublu orientate în ochiul poligonal I \equiv cu numărul total de unghiuri măsurate în primul ochi.

$$N_4 = 5; N_5 = 2; N_{II} = N_2 + N_4 + N_5 = 9$$

$$N_6 = 5; N_{III} = N_3 + N_5 + N_6 = 10 \quad (4.84)$$

Notînd cu $K_{I\beta}$, $K_{II\beta}$, $K_{III\beta}$ — corelatele corespunzătoare fiecărui ochi, sistemul normal se poate scrie după următoarea regulă: pe diagonala principală în mod corespunzător numărul total de orientări pe ochi cu semn pozitiv, ceilalți coeficienți vor fi negativi, corespunzător cu numărul de laturi dublu orientate.

Ochi	Corelata I	Corelata 2	Corelata 3
Ochiul I	$N_1 K_{I\beta}$	$-N_2 K_{II\beta}$	$-N_3 K_{III\beta} + W_{1\beta} = 0$
Ochiul II	$-N_2 K_{I\beta}$	$+N_{II} K_{II\beta}$	$-N_5 K_{III\beta} + W_{2\beta} = 0$
Ochiul III	$-N_3 K_{I\beta}$	$-N_5 K_{II\beta}$	$+N_{III} K_{III\beta} + W_{3\beta} = 0$

(4.85)

conform figurii sistemul scris pe diagonală va fi:

$$\begin{cases} 8K_{I\beta} - K_{II\beta} - 3K_{III\beta} + W_{1\beta} = 0 \\ 9K_{II\beta} - 2K_{III\beta} + W_{2\beta} = 0 \\ 10K_{III\beta} + W_{3\beta} = 0 \end{cases} \quad (4.85')$$

Se va rezolva sistemul (4.84) prin una din metodele cunoscute, rezultînd mărimile corelatele: $K_{I\beta}$, $K_{II\beta}$, $K_{III\beta}$.

Corecțiile pe direcții sau orientări sînt date de următoarele relații:

— pentru latură exterioră corecția este egală cu mărimea și de semnul corelatei ochiului de care aparține

$$(\text{exemplu pentru latură } ab, v_{ab} = K_{I\beta}) \quad (4.86)$$

— pentru latură adiacentă corecția este dată de diferența dintre corelatele (cu semnele corespunzătoare) celor două ochiuri adiacente

$$(\text{exemplu } v_{de} = K_{I\beta} - K_{III\beta}) \quad (4.87)$$

Corecțiile vor fi aplicate orientărilor provizorii calculate anterior, rezultînd orientările definitive.

Cu aceste orientări se vor calcula relativele pe x și pe y pentru fiecare latură a traseului, plecînd dintr-un punct de coordonate cunoscute sau alese arbitrar. Se va calcula suma relativelor pe secțiunea AB :

$$\begin{aligned} \Delta' x_{Aa} + \Delta' x_{ab} + \Delta' x_{bc} + \Delta' x_{cB} &= [\Delta x]_A^B \\ \Delta' y_{Aa} + \Delta' y_{ab} + \Delta' y_{bc} + \Delta' y_{cB} &= [\Delta y]_A^B \end{aligned} \quad (4.88)$$

— lungimea desfășurată:

$$s_a + s_b + s_c + s_d = [S]_A^B = S_1 \quad (4.89)$$

în mod similar:

$$\begin{aligned} [\Delta'x]_B^D; [\Delta'y]_B^D; [S]_B^D &= S_2 \\ [\Delta'x]_D^A; [\Delta'y]_D^A; [S]_D^A &= S_3 \end{aligned} \quad (4.90)$$

iar lungimea totală a ochiului I este:

$$S_1 + S_2 + S_3 = S_I$$

în mod asemănător:

$$\begin{aligned} [\Delta'x]_B^C; [\Delta'y]_B^C; [S]_B^C &= S_4 \\ [\Delta'x]_C^D; [\Delta'y]_C^D; [S]_C^D &= S_5 \\ S_2 + S_4 + S_5 &= S_{II} \end{aligned} \quad (4.91)$$

$$\begin{aligned} [\Delta'x]_C^A; [\Delta'y]_C^A; [S]_C^A &= S_6 \\ S_3 + S_5 + S_6 &= S_{III} \end{aligned} \quad (4.92)$$

Se vor calcula neînchiderile pe coordonate în fiecare ochi în parte, ținând cont de semnul general de parcurgere al traseului:

$$\begin{aligned} W_{1x} &= [\Delta'x]_A^B + [\Delta'x]_B^D + [\Delta'x]_D^A \\ W_{2x} &= [\Delta'x]_B^C + [\Delta'x]_C^D + [\Delta'x]_D^B \\ W_{3x} &= [\Delta'x]_C^A + [\Delta'x]_A^D + [\Delta'x]_D^C \end{aligned} \quad (4.93)$$

și în mod similar:

$$\begin{aligned} W_{1y} &= [\Delta'y]_A^B + [\Delta'y]_B^D + [\Delta'y]_D^A \\ W_{2y} &= [\Delta'y]_B^C + [\Delta'y]_C^D + [\Delta'y]_D^B \\ W_{3y} &= [\Delta'y]_C^A + [\Delta'y]_A^D + [\Delta'y]_D^C \end{aligned} \quad (4.94)$$

Se scriu sistemele normale Gauss, corespunzătoare măsurătorilor condiționate ponderate, după următoarele reguli: pe diagonala principală coeficienții corelatelor vor fi pozitivi și vor avea ca mărime lungimea totală desfășurată a ochiului; ceilalți coeficienți vor fi negativi și vor avea lungimea secțiunii corespunzătoare laturii adiacente dintre corelată și ochiul de rețea.

$$\begin{cases} \text{Ochiul I} & +S_1 K_{Ix} & -S_2 K_{IIx} & -S_3 K_{IIIx} & +W_{1x} = 0 \\ \text{Ochiul II} & -S_2 K_{IIx} & +S_4 K_{IIx} & -S_5 K_{IIIx} & +W_{2x} = 0 \\ \text{Ochiul III} & -S_3 K_{Ix} & -S_5 K_{IIx} & +S_{III} K_{IIIx} & +W_{3x} = 0 \end{cases} \quad (4.95)$$

și în mod similar pentru axa y-ilor

$$\begin{aligned} +S_1 K_{Iy} & -S_2 K_{IIy} & -S_3 K_{IIIy} & +W_{1y} = 0 \\ -S_2 K_{Iy} & +S_4 K_{IIy} & -S_5 K_{IIIy} & +W_{2y} = 0 \\ -S_3 K_{Iy} & -S_5 K_{IIy} & +S_{III} K_{IIIy} & +W_{3y} = 0 \end{aligned} \quad (4.96)$$

Se rezolvă sistemele (4.95) și (4.96), rezultând corelatele K_{Ix} , K_{IIx} , K_{IIIx} și respectiv K_{Iy} , K_{IIy} , K_{IIIy} , cu ajutorul cărora vor fi calculate corecțiile totale pe fiecare secțiune a traseului acolat după următoarele reguli:

— pentru secțiune exterioară, corecția totală a secțiunii este dată de produsul dintre lungimea secțiunii, cu semnul sensului de calcul al relativei în raport cu suma generală de parcurgere a drumirii acolate și corelata corespunzătoare ochiului respectiv

$$\text{ex. } W_{1x} = S_1 \cdot K_{Ix} \text{ și respectiv: } W_{1y} = S_1 \cdot K_{Iy} \quad (4.97)$$

— pentru secțiune comună a două ochiuri corecția totală a secțiunii rezultă ca produsul dintre lungimea secțiunii comune și diferența dintre corelate, luate în ordinea scrierii corelatelor.

$$\text{ex: } W_{2x} = S_2(K_{Ix} - K_{IIx}) \text{ și respectiv: } W_{2y} = S_2(K_{Iy} - K_{IIy}) \quad (4.98)$$

Cunoscând corecțiile totale pe secțiuni se va face compensarea pe relative, calculând pe fiecare secțiune corecțiile unitare:

$$C_{ix}^0 = \frac{W_{ix}}{S_i}; \quad C_{iy}^0 = \frac{W_{iy}}{S_i} \quad (4.99)$$

exemplu:

$$C_{1x} = \frac{W_{1x}}{S_1}; \quad C_{1y} = \frac{W_{1y}}{S_1} \quad (4.100)$$

— corecțiile pe relative:

$$v_{jx} = [S]^j C_{ix}^0; \quad v_{jy} = [S]^j C_{iy}^0 \quad (4.101)$$

exemplu:

$$\begin{aligned} v_{Aax} &= s_a \cdot C_{1x}^0; \quad v_{Aay} = s_a \cdot C_{1y}^0 \\ v_{abx} &= (s_a + s_b) C_{1x}^0; \quad v_{aby} = (s_a + s_b) C_{1y}^0 \\ v_{bcx} &= (s_a + s_b + s_c) C_{1x}^0; \quad v_{bcy} = (s_a + s_b + s_c) C_{1y}^0 \\ v_{oBx} &= S_1 \cdot C_{1x}^0 = W_{1x}; \quad v_{oBy} = S_1 \cdot C_{1y}^0 = W_{1y} \end{aligned}$$

corecții ce se aplică relativelor calculate provizoriu

$$\Delta jx = \Delta'_{jx} + v_{jx}; \quad \Delta jy = \Delta'_{jy} + v_{jy} \quad (4.102)$$

exemplu:

$$\begin{aligned} \Delta x_{Aa} &= \Delta'_{x_{Aa}} + v_{Aax}; \quad \Delta y_{Aa} = \Delta'_{y_{Aa}} + v_{Aay} \\ \Delta x_{ab} &= \Delta'_{x_{ab}} + v_{abx}; \quad \Delta y_{ab} = \Delta'_{y_{ab}} + v_{aby} \\ \Delta x_{bc} &= \Delta'_{x_{bc}} + v_{bcx}; \quad \Delta y_{bc} = \Delta'_{y_{bc}} + v_{bcy} \\ \Delta x_{cB} &= \Delta'_{x_{cB}} + v_{cBx}; \quad \Delta y_{cB} = \Delta'_{y_{cB}} + v_{cBy} \end{aligned} \quad (4.103)$$

Obținând astfel relativele compensate, care se vor adăuga la coordonatele unui singur punct cunoscut, vor rezulta coordonatele definitive pentru întreg traseul poligonal acolat.

4.2. NIVELMENT SUBTERAN

Scopul nivelmentului este de a determina înălțimea diferitelor puncte topografice de nivelment în raport cu o suprafață unică de referință pentru cote, necesare reprezentării lucrărilor miniere cunoscute ca poziție planimetrică.

Dat fiind caracterul definit al sistemului de cote în raport cu sistemul de coordonate, rețeaua nivelitică este de regulă separată de rețeaua planimetrică, dar pe aceleași lucrări miniere.

Nivelmentul face parte integrantă din sistemul de referință al bazinului minier, fapt ce impune unicitatea atât la suprafață cât și în subteran. În acest scop este necesară legarea unitară a cotelor punctelor topografice de la suprafață cu punctele subterane.

4.2.1. TRANSMITEREA COTELOR ÎN SUBTERAN

Transmiterea cotelor se face în subteran pe gurile de acces în subteran, deosebind în acest sens două categorii de lucrări: galeria de coastă și puțul vertical de mină.

Transmiterea cotelor pe galeria de coastă. Reperele de nivelment necesare materializării sistemului de referință la suprafața bazinului minier sînt marcate fie prin borne de beton de cote cunoscute (prin nivelment geometric de la mijloc, de mare precizie, din rețeaua națională de nivelment), fie prin repere nivelitice pe clădiri (de aceeași precizie).

În cazul accesului în subteran pe galerie de coastă sau plan înclinat (fig. XV.53), cota se transmite în subteran prin nivelment geometric de la mijloc.

Se cunoaște cota H_A a reperului de nivelment A . La mijlocul distanței ($d < 200$) pînă la punctul 501 unde se transmite cota H_{501} , se staționează cu o nivelă. Reperul

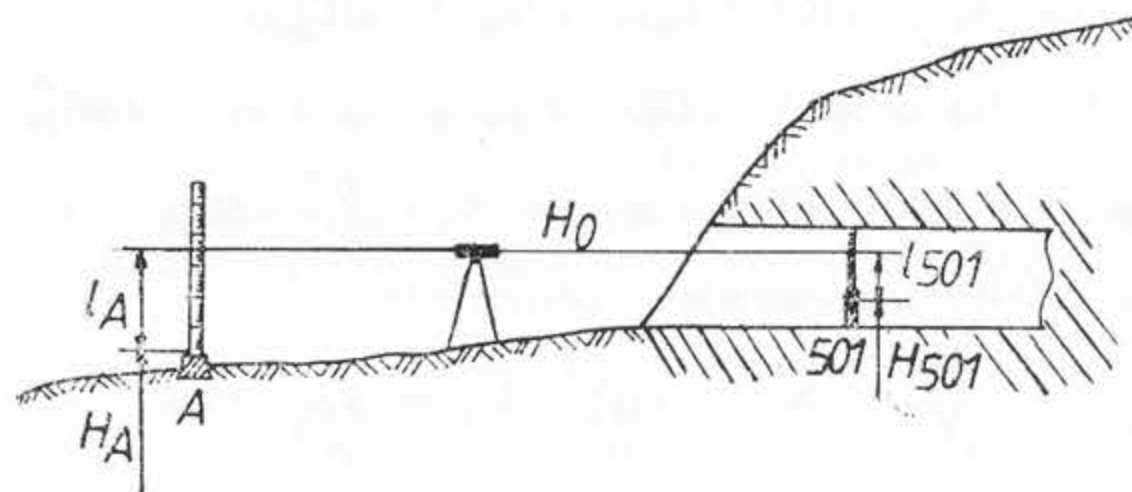


Fig. XV.53. Transmiterea cotelor pe galerie de coastă.

de nivelment A și punctul din subteran 501 vor fi semnalizate cu mire parlante aparținătoare nivelei, mire pe care vor fi făcute lecturile l_A , respectiv l_{501} .

Cota orizontului:

$$H_0 = H_A + l_A \quad (4.104)$$

Cota punctului 501:

$$H_{501} = H_0 - l_{501} \text{ sau } H_{501} = H_0 + l_A - l_{501} \quad (4.105)$$

Se observă că diferența de nivel

$$h_{501 A} = H_{501} - H_A \quad (4.106) \text{ sau } h_{501 A} = l_A - l_{501} \quad (4.107)$$

Transmiterea cotelor pe puțul vertical de mină. Se face funcție de aparatura existentă, condițiile ce le oferă puțul respectiv și destinația datelor obținute. Sînt cunoscute mai multe metode:

Transmiterea cotei cu panglica se execută astfel: din turnul puțului unde se montează bobina cu panglica de 100, 250 sau 500 m, se lansează panglica lestată în secțiunea puțului degrevat momentan la transport și aeraj. La suprafață se cunoaște un reper de nivelment A , prin cota H_A , care va fi semnalizat cu o miră corespunzătoare aparatului de nivelat cu care se fac citirile atât pe miră (l_A) cât și pe panglică (b).

În subteran se staționează cu nivela la jumătatea distanței dintre reperul nivelitic a cărui cotă va fi determinată, reper semnalizat printr-o miră parlată corespunzătoare aparatului pe care se va face lectura l_{501} și panglica lestată în puț, pe care se face lectura a . Din fig. XV.54 se observă că înălțimea brută (cota) punctului 501 rezultă din:

$$H'_{501} = H_A + l_A - (l - a) + l_{501} \quad (4.108)$$

cotă careia trebuie să i se aducă corecțiile corespunzătoare adîncimii puțului: de temperatură (C_t) și de tensiune (C_p).

$$H_{501} = H'_{501} + C_t + C_p \quad (4.109)$$

Corecția de temperatură este o funcție de temperatura de lucru t , care se ia ca medie

$$t = \frac{t^s + t_s}{2} \quad (4.110)$$

a temperaturii de la gura puțului t^s și temperatura pe puț t_s , la orizontul la care se determină cota; temperatura de etalonare a ruletei este de obicei 20° , și lungimea măsurată pe panglică ($b - a$).

$$C_t = (b - a) \cdot (t^\circ - 20^\circ) \cdot 0,0115 \quad (4.111)$$

Corecția de alungire a firului este funcție de masa specifică a oțelului ($\gamma = 7,8 \text{ kg/dm}^3$), modulului de elasticitate a oțelului ($E = 2 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$) și lungimea l desfășurată a ruletei.

$$C_p = \frac{\gamma \cdot 1000}{10 E} \cdot (b - a) \cdot \left(l - \frac{b - a}{2} \right) \quad (4.112)$$

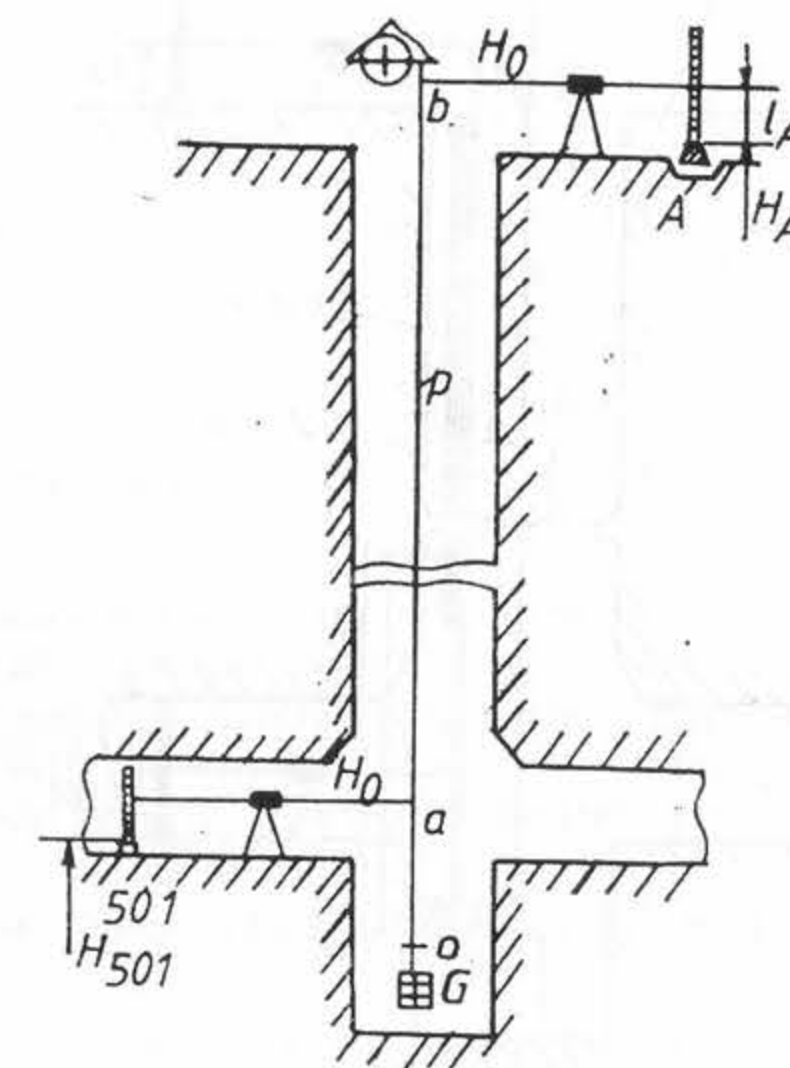


Fig. XV.54. Transmiterea pe puț a cotei cu panglică specială.

Transmiterea cotei cu ruleta se face în cazul absenței panglicilor speciale. La aplicarea metodei (fig. XV.55) vor participa doi operatori topografi: primul (O_1) va lua loc pe acoperișul coliviei puțului, fiind asigurat cu centură de siguranță, iar cel de al doilea (O_2) va fi plasat într-o chiblă, pe funia coliviei, la o înălțime aproximativ egală cu lungimea ruletei și va ține capătul de zero al ruletei.

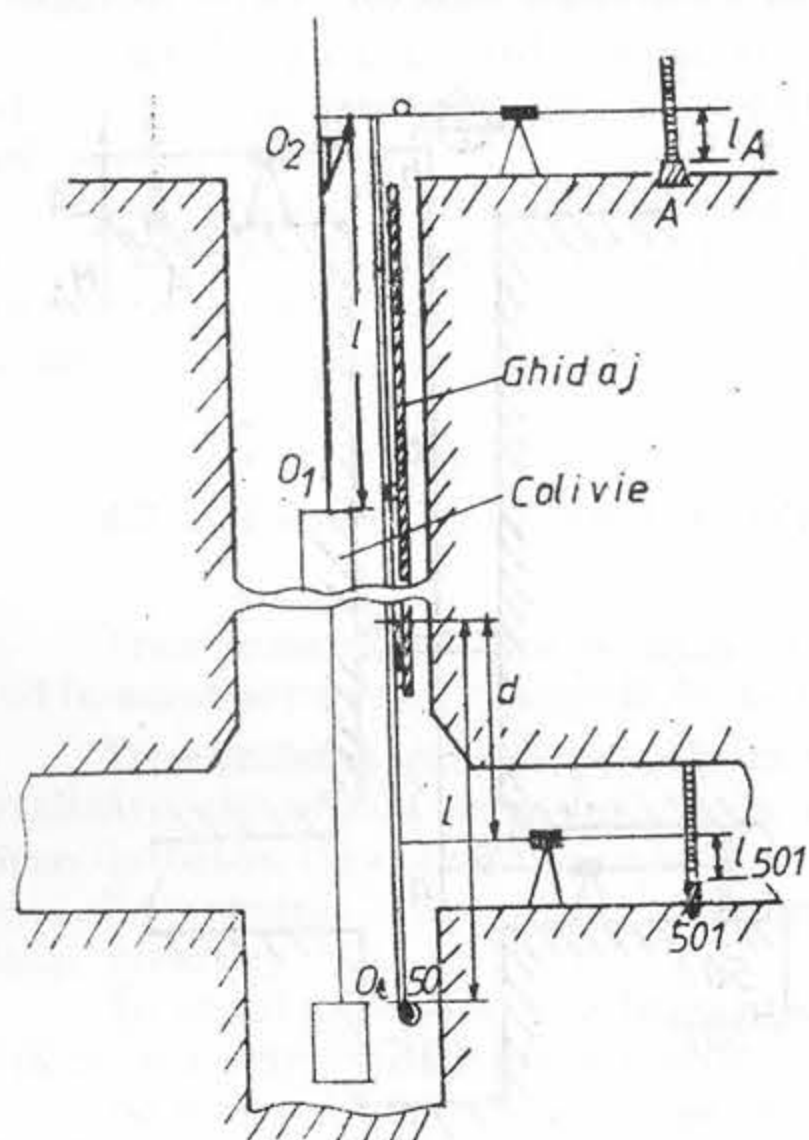


Fig. XV.55. Transmiterea pe puț a cotelor cu ruletă.

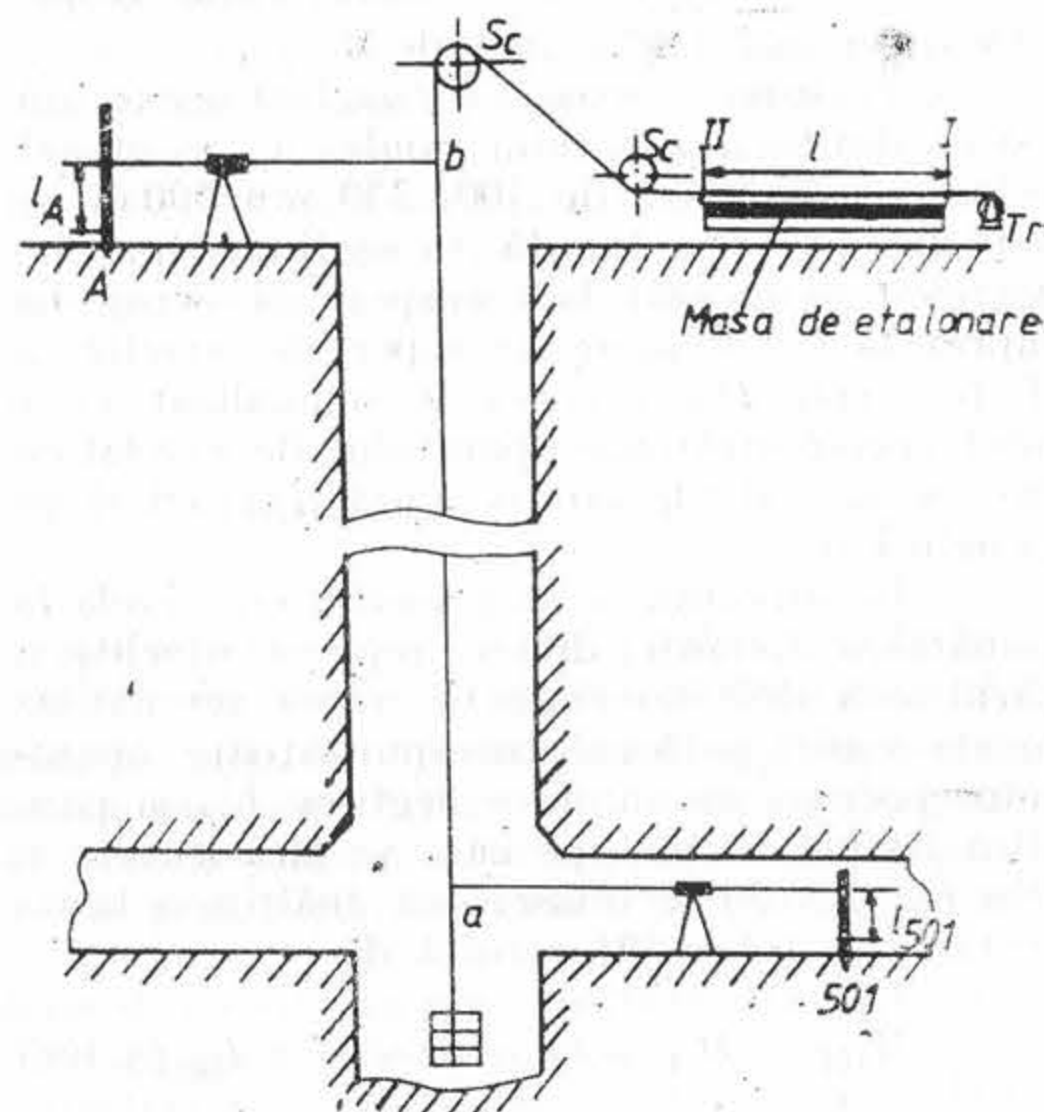


Fig. XV.56. Transmiterea pe puț a cotelor cu firul lestat.

Operația de măsurare începe de sus în jos, prin coborîrea coliviei cu mașina de extracție și opriri la intervale aproximativ egale cu lungimea ruletei. Cei doi operatori vor măsura lungimi egale cu lungimea ruletei (l), lungimi marcate de operatorul (O_1) prin baterea unor cuie reper pe același ghidaj al puțului. La orizontul la care se transmite cota va fi vizată ultima citire pe ruleta d . Înălțimea măsurată ($b - a$):

$$(b - a) = n \cdot l + d \quad (4.113)$$

relație în care n reprezintă numărul de rulete întregi măsurate.

Cota provizorie H'_{501} a punctului 501 va fi dată de relația (4.108). Influența variației tensiunii de întindere și de alungire este neglijabilă, va fi aplicată numai corecția de temperatură C_t (4.110), (4.111). Cota definitivă va fi:

$$H_{501} = H'_{501} + C_t \quad (4.114)$$

Transmiterea cotei utilizând fire lestate. Poate utiliza un fir folosit anterior la proiectarea mecanică a coordonatelor, făcînd o amenajare suplimentară (fig. XV.56), constînd din instalarea unei mese de etalonare, prin fața căreia să treacă firul la înmagazinarea sa.

Prin măsurători de nivelment se vizează pe fir, la suprafață, un punct b care se marchează prin crestare, vopsire sau cositorire, iar în subteran se vizează un punct a care se marchează asemănător.

Se trage firul din puț pe troliul Tr ghidat pe scripete Sc prin fața mesei de etalonare. La capătul I al mesei de etalonare se aduce semnul b de pe fir, în dreptul capătului II se așază o agrafă de măsurare, se depozitează firul în continuare pe troliu, pînă agrașa ajunge în I , punîndu-se o nouă agrafă în II și așa mai departe înregistrîndu-se numărul (n) de treceri a lungimii l (a etalonului) pe fir, măsurîndu-se și ultima porțiune cu ajutorul unei rulete. Lungimea:

$$(b - a) = n \cdot l + d \quad (4.115)$$

Cota provizorie H'_{501} a punctului de nivelment 501 este dată de (4.108), cotă asupra căreia va fi adusă doar corecția de temperatură după relațiile (4.110), (4.111), rezultînd cota definitivă H_{501} dată de relația (4.114).

4.2.2. METODE DE NIVELMENT SUBTERAN

Nivelmentul subteran, ca principii de utilizare a metodelor, nu se deosebește de cel de la suprafață, decît prin modul de plasare al reperelor de nivelment. Materializarea reperelor de nivelment subteran se face în peretele lateral al galeriei, opus spațiului de circulație, la o înălțime de circa 30 cm față de vatră sau coroana șinei, prin repere metalice speciale pentru punctele principale și prin platbande pentru punctele curente de nivelment.

Metoda nivelmentului geometrie de la mijloc. Este aplicată pe lucrările miniere cu pantă mică.

Reperul 501 de cotă cunoscută H_{501} este semnalizat printr-o miră parlantă, ca și punctul 502 a cărui cotă se cere a fi determinată (fig. XV.57).

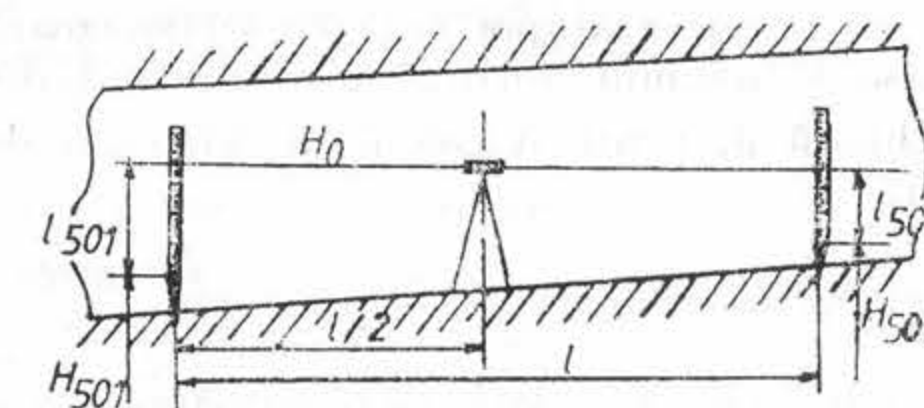


Fig. XV.57. Nivelment geometric de la mijloc în subteran.

Aparatul de nivelat va fi amplasat aproximativ la jumătatea distanței ($d < 200$ m) dintre cele două puncte. Se vizează mira din punctul 501 și se face lectura l_{501} și apoi mira din 502 și se face lectura l_{502} .

Cota orizontului:

$$H_0 = H_{501} + l_{501} \quad (4.116)$$

Cota punctului 502:

$$H_{502} = H_0 - l_{502} \quad (4.117)$$

sau

$$H_{502} = H_{501} + l_{501} - l_{502} \quad (4.118)$$

Diferența de nivel dintre cele două repere

$$h_{502-501} = H_{502} - H_{501} \quad (4.119)$$

$$h_{502-501} = l_{501} - l_{502} \quad (4.120)$$

Pentru un traseu nivelitic, se procedează asemănător pentru fiecare nivelu în parte.

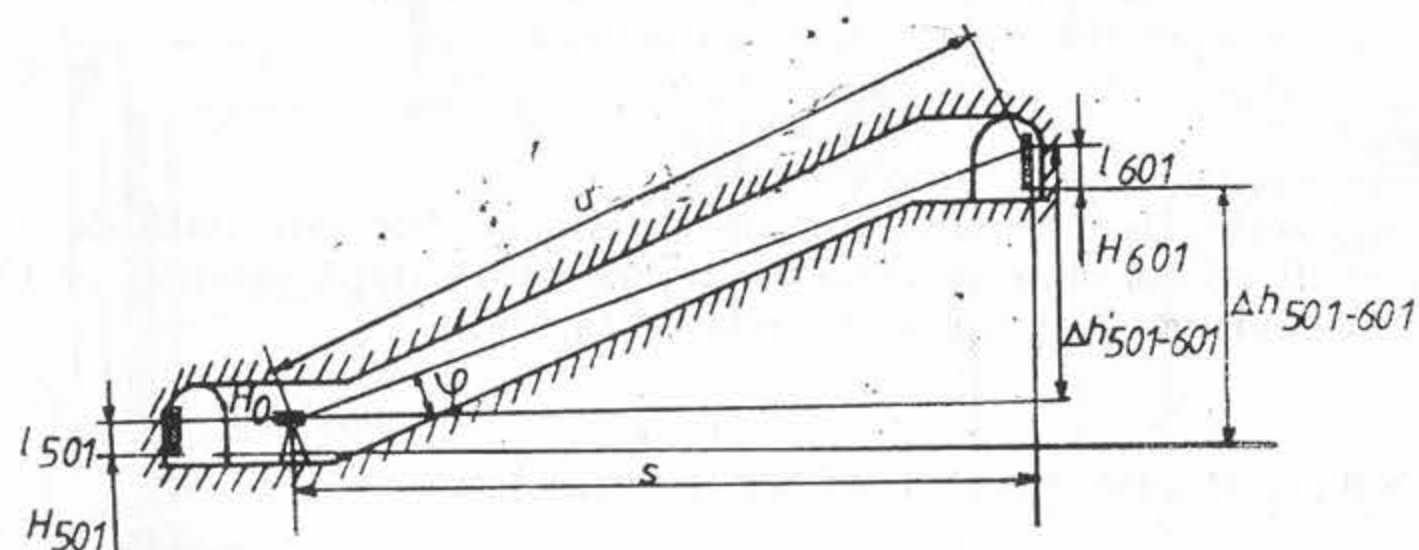


Fig. XV.58. Nivelment trigonometric subteran

Metoda nivelmentului trigonometric. Este aplicată în cazul planelor înclinate cu pantă mare, în imposibilitatea aplicării nivelmentului geometric de la mijloc.

Reperul cunoscut 501 se semnalizează cu o miră parlantă. Cu un teodolit se face stație într-un punct cu vizibilitatea înspre ambele puncte. Cu luneta orizontală se vizează reperul cunoscut 501, făcându-se lectura l_{501} (fig. XV.58).

Cota orizontului va fi:

$$H_0 = H_{501} + l_{501}$$

Se vizează apoi mira ce semnalizează punctul 601, făcându-se lectura l_{601} , citindu-se și unghiul vertical φ . Cunoscând distanța orizontală s sau măsurind distanța înclinată d , poate fi calculată diferența de nivel $\Delta h'_{501,601}$ între teodolit și viza pe miră:

$$\Delta h'_{501,601} = s \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4.121)$$

sau

$$\Delta h'_{501,601} = d \cdot \sin \varphi \quad (4.122)$$

atunci diferența de nivel dintre punctele 501 și 601 va fi:

$$\Delta h_{501,601} = l_{501} + \Delta h'_{501,601} - l_{601}$$

Pentru simplificarea relației se alege ca lectură pe miră înainte din 601 egală lectura din viza înapoi către 501

$$l_{601} = l_{501} \quad (4.123)$$

astfel încît:

$$\Delta h'_{501,601} = \Delta h_{501,502} \quad (4.124)$$

Cota punctului 601;

$$H_{601} = H_{501} + l_{501} + s \operatorname{tg} \varphi - l_{601} \quad (4.125)$$

sau

$$H_{601} = H_{501} + l_{501} + d \sin \varphi - l_{601} \quad (4.126)$$

dar respectînd condiția (5.123):

$$H_{601} = H_{501} + s \operatorname{tg} \varphi \quad (4.127)$$

respectiv

$$H_{601} = H_{501} + d \sin \varphi \quad (4.128)$$

În cazul cînd condițiile subterane impun utilizarea teodolitului cu ambele vize înclinate, atunci relația se modifică în consecință.

Nivelmentul în trepte. Cunoscut și sub numele de *nivelment prin stafilare*, după denumirea instrumentului ce se utilizează, nivelmentul în trepte este aplicat în lucrările miniere de formă neregulată, cu diferențe mari de nivel, cazuri imposibile de soluționat prin nivelment geometric de la mijloc. Stafilatorul este construit din două rigle gradate (1–1,5 m) (fig. XV.59), perpendiculare între ele, cu posibilități de glisare. Dispozitivul, la utilizare, va avea rigla orizontală orizontalizată cu o nivelă cu bulă de aer (boloboc) sau rigla verticală, verticalizată cu un fir cu plumb.

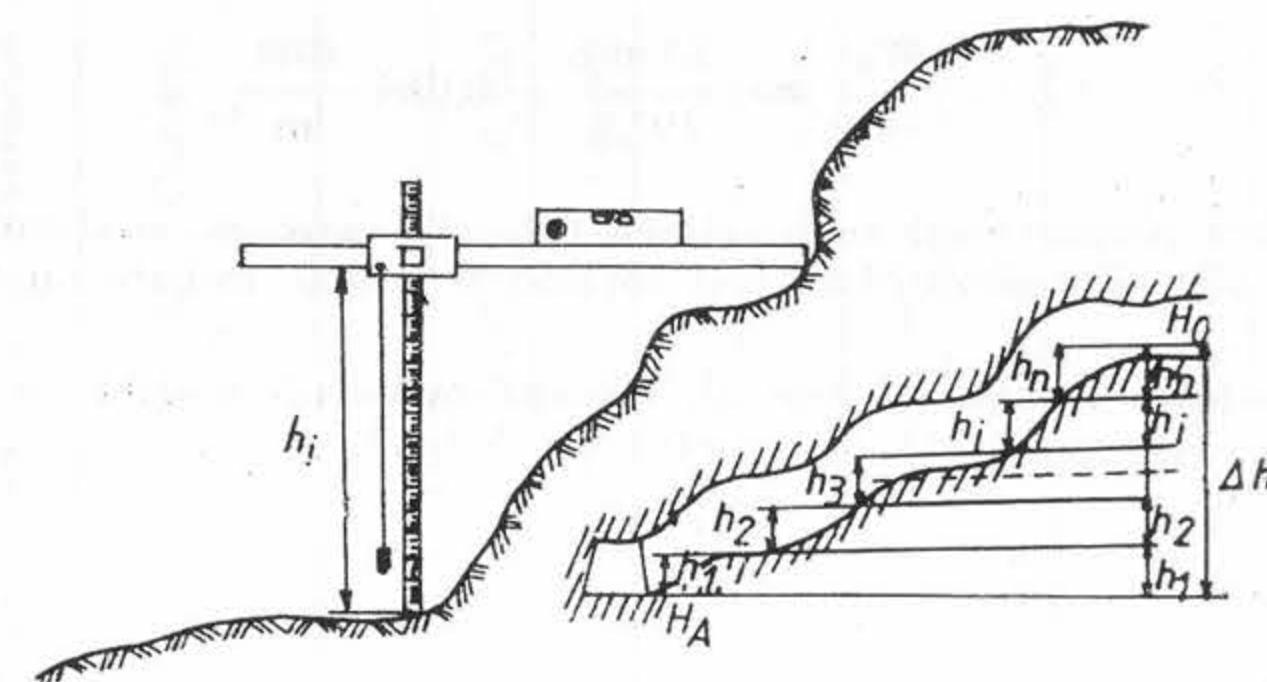


Fig. XV.59. Nivelment subteran în trepte.

Diferența de nivel dintre două puncte h_i va fi citită pe rigla culisabilă verticală, în dreptul reperului aflat pe glisieră.

Diferența totală va fi stabilită prin însumarea diferențelor de nivel parțiale.

$$\Delta h_{AB} = [h] \quad (4.129) \quad H_B = H_A + \Delta h_{AB} \quad (4.130)$$

4.2.3. TRASEE NIVELITICE SUBTERANE

Definirea spațială a rețelei subterane de lucrări miniere se face și prin poziționarea pe înălțime a tuturor punctelor caracteristice, unitar legate între ele prin trasee de nivelment de bună precizie.

După modul de constituire (forma lucrărilor miniere), sînt utilizate în subteran mai multe tipuri de trasee de nivelment:

Drumuire de nivelment geometric de la mijloc. Este formată din puncte nivelitice subterane în care, cunoscând cota unui punct prin nivelment geometric de la mijloc, pot fi determinate cotele celorlalte puncte în mod succesiv. Pe lângă aceste puncte mai pot fi calculate totodată și cotele unor puncte în afara traseului. În cazul când se cunoaște cota unui punct de închidere, poate fi efectuată o compensare corespunzătoare a traseului nivelitic cu procedeu și relații corespunzătoare.

Măsurătorile, calculele și schița traseului sunt înscrise în formulare corespunzătoare (tabelul XV.4).

Se calculează neînchiderea W_H la capătul drumuirii, în punctul 508, unde cota H_{508} se cunoaște

$$W_H = H_{508} - H'_{508} = 426,549 - 426,524 = +25 \text{ mm}$$

care se compară cu toleranța T_H dată de:

$$T_H = \pm 50 \text{ mm} \sqrt{[d]} \text{ km} = \pm 27 \text{ mm}$$

Deoarece neînchiderea $W_H \leq T_H$, atunci poate fi efectuată compensarea pe cote. Se calculează corecția unitară:

$$C_H^0 = \frac{W_H}{[d]} = \frac{25 \text{ mm}}{297,6} = 0,084 \frac{\text{mm}}{\text{m}}$$

corecție ce se aplică proporțional cu lungimea traseului parcurs, conform tabelului XV.4, tabel în care se observă că au fost incluse și puncte radiate cu vize de „mijloc”.

Rețea nivelitică nodală. În general, rețeaua nivelitică nodală nu se deosebește de același gen de rețea rezolvată planimetric (§ 4.1.3.5).

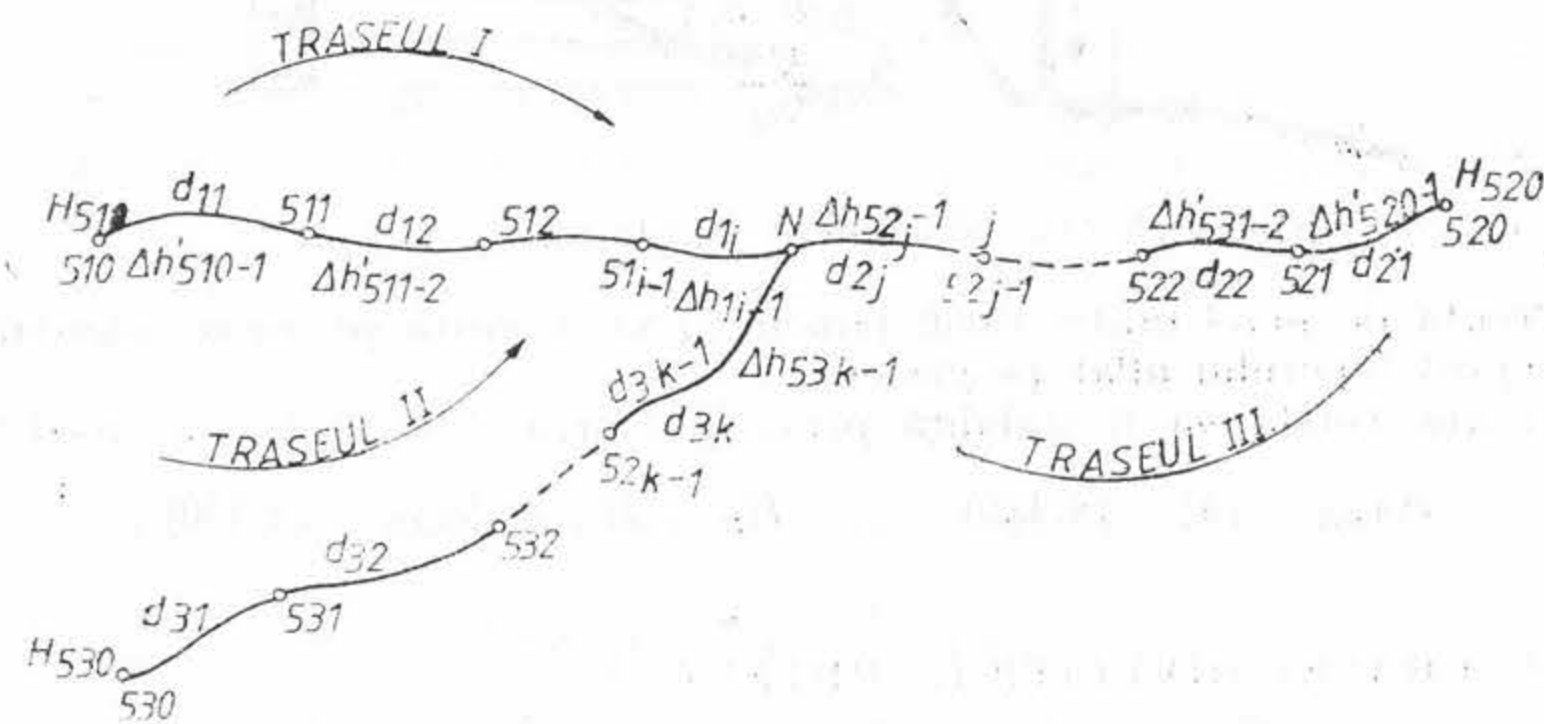


Fig. XV.60. Rețea nivelitică nodală.

Elementele cunoscute sînt cotele punctelor de capăt H_{510} , H_{520} , H_{530} (fig. XV.60).

Elementele măsurate sînt diferențele de nivel între punctele curente ale fiecărui traseu, cu ajutorul cărora prin nivelment geometric de la mijloc sau nivelment trigo-

Tabelul XV.4

Compensarea drumuirii de nivelment geometric

Punct stație	Punct vizat	Citiri pe miră			Cota orizont	Cota H' relativă	Corecții C	Cota H definitivă	Distanța		Schița
		înapoi	mijloc	înainte					pe porțiuni	cu unitate	
501		1,157						424,191			
S1	502		0,921		425,348	424,427	+0,003	424,427	31,10		
503				0,427		424,921	+0,008	424,927	39,3	70,4	
503	503	1,814				424,921					
S2	504				426,735	426,624	+0,010	426,634	45,8	116,2	
505						425,643	+0,010	425,656	38,2	154,4	
506				0,824		425,911	+0,018	425,929	61,2	215,6	
506	506	1,428				425,911					
507			0,928		427,339	426,411	+0,021	426,432	31,8	247,4	
508				0,815		426,524	+0,025	426,549	50,2	297,6	

nometric se calculează cotele necompensate ale punctelor curente pe trasee și a punctului nodal N . Va rezulta deci pe:

traseul 10 $H'_H = H_{510} + [\Delta h_1]_0^i$; lungimea traseului $[d]_{10}^i$

traseul 20 $H''_N = H_{520} + [\Delta h_2]_0^j$; lungimea traseului $[d]_{20}^j$

traseul 30 $H'''_N = H_{530} + [\Delta h_3]_0^k$; lungimea traseului $[d]_{30}^k$

Coeficienții de pondere:

Traseul	Lungimea	Nivelment geometric	Nivelment trigonometric
I	$[d]_{10}^i$	$p'_N = \frac{1}{[d]_{10}^i}$	$p'_N = \frac{1}{\{[d]_{10}^i\}^2}$
II	$[d]_{20}^j$	$p''_N = \frac{1}{[d]_{20}^j}$	$p''_N = \frac{1}{\{[d]_{20}^j\}^2}$
III	$[d]_{30}^k$	$p'''_N = \frac{1}{[d]_{30}^k}$	$p'''_N = \frac{1}{\{[d]_{30}^k\}^2}$

Cea mai probabilă valoare a cotei punctului nodal N va fi media aritmetică ponderată:

$$H_N = \frac{p'_N \cdot H'_N + p''_N \cdot H''_N + p'''_N \cdot H'''_N}{p'_N + p''_N + p'''_N} \quad (4.132)$$

Se calculează neînchiderea pe cotă, pe fiecare traseu, după relația (4.133)

$$W'_N = H_N - H'_N; \quad W''_N = H_N - H''_N; \quad W'''_N = H_N - H'''_N \quad (4.133)$$

cu ajutorul cărora vor fi calculate corecțiile unitare pe cote, pe fiecare traseu, cu relația (4.134)

$$C_N^{0'} = \frac{W_H}{[d]_0^i}; \quad C_N^{0''} = \frac{W_H}{[d]_0^j}; \quad C_N^{0'''} = \frac{W_H}{[d]_0^k} \quad (4.134)$$

și apoi vor fi compensate cotele provizoriu calculate, proporțional cu lungimea traseului parcurs:

$$\begin{aligned} H_{11} &= H'_{11} + d_{11} C_N^{10} \\ H_{12} &= H'_{12} + (d_{11} + d_{12}) C_N^{10} \\ H_N &= H'_N + [d]_0^i C_N^{10} \end{aligned} \quad (4.135)$$

și în mod similar pe celelalte trasee.

Rețea nivelitică acolată. Este construită din ochiuri adiacente de nivelment (fig. XV.61).

Se cunoaște cota unui singur punct aparținând rețelei nivelitice acolate. Se măsoară diferențele de nivel dintre punctele curente aparținând fiecărei secțiuni în parte,

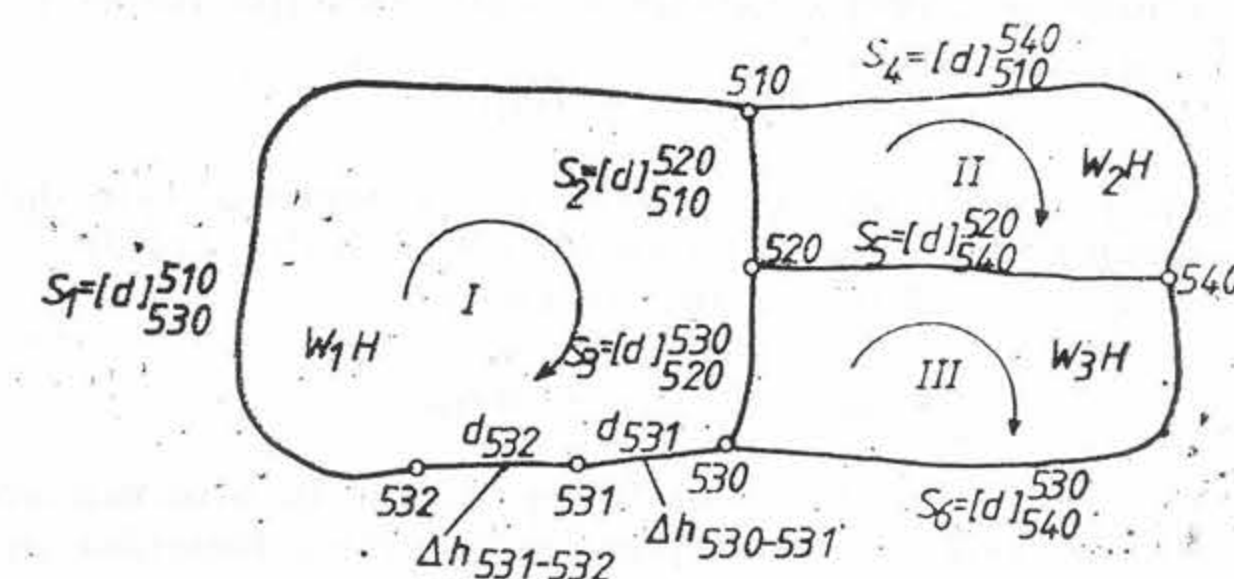


Fig. XV.61. Rețea nivelitică acolată.

diferențe de nivel ce se însumează după sensul general al traseului acolat. Astfel vor rezulta:

$$[\Delta h']_{530}^{510}; [\Delta h']_{510}^{520}; [\Delta h']_{520}^{530}; [\Delta h']_{540}^{510}; [\Delta h']_{540}^{520}; [\Delta h']_{540}^{530}$$

Ca mod de rezolvare se urmărește modul de compensare pe coordonate a rețelei planimetrice acolate (§ 4.1.3.6).

Se calculează lungimea fiecărei secțiuni $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ și lungimea fiecărui ochi în parte:

$$\begin{aligned} S_I &= S_1 + S_2 + S_3 \\ S_{II} &= S_2 + S_4 + S_5 \\ S_{III} &= S_3 + S_5 + S_6 \end{aligned} \quad (4.136)$$

Se calculează neînchiderile pe cote în fiecare ochi în parte:

$$\begin{aligned} W_{IH} &= [\Delta h']_{530}^{510} + [\Delta h']_{510}^{520} + [\Delta h']_{520}^{530} \\ W_{2H} &= [\Delta h']_{510}^{520} + [\Delta h']_{540}^{510} + [\Delta h']_{540}^{520} \\ W_{3H} &= [\Delta h']_{520}^{530} + [\Delta h']_{540}^{520} + [\Delta h']_{540}^{530} \end{aligned} \quad (4.137)$$

Cum coeficienții de pondere sînt funcție tot de lungimea traseului parcurs, se ține cont de aceleași considerente după care au fost scrise sistemele (4.95) și (4.96) rezultînd astfel:

$$\begin{aligned} S_1 K_{IH} - S_2 K_{IHH} - S_3 K_{IIHH} + W_{IH} &= 0 \\ -S_2 K_{IH} + S_{II} K_{IHH} - S_5 K_{IIHH} + W_{2H} &= 0 \\ -S_3 K_{IH} - S_5 K_{IHH} + S_{III} K_{IIHH} + W_{3H} &= 0 \end{aligned} \quad (4.138)$$

Sistem care, rezolvat, va oferi valorile corelatelor K_{IH} , K_{IHH} și K_{IIHH} cu ajutorul cărora vor fi calculate corecțiile totale pe fiecare secțiune în parte, conform considerațiilor de la rețeaua planimetrică acolată și anume:

— pentru secțiunea marginală de contur, corecția totală este dată de produsul dintre lungimea secțiunii și corecția corespunzătoare ochiului respectiv: ex.

$$W_{1H} = S_1 \cdot K_{IH} \quad (4.139)$$

— pentru secțiunea comună, corecția totală pe secțiune este dată de produsul dintre lungimea secțiunii și diferența dintre corelatele celor două ochiuri adiacente, luate ca semn după sensul general al întregului traseu: ex.

$$W_{2H} = S_2(K_{IH} - K_{IHH}) \quad (4.140)$$

Corecțiile totale astfel rezultate vor fi repartizate tuturor diferențelor de nivel corespunzătoare secțiunii respective în raport cu lungimea traseului parcurs. Corecția unitară pe secțiune este dată de:

$$C_{iH}^0 = \frac{W_{iH}}{S_i} \quad (4.141)$$

ex.

$$C_{1H}^0 = \frac{W_{1H}}{S_1}$$

cu ajutorul căreia se calculează corecția corespunzătoare pe diferența de nivel:

$$v_{jH} = [d]^j C_{iH}^0 \quad (4.142)$$

$$v_{530-531} = d_{530-531} \cdot C_{1H}^0$$

$$v_{531-532} = (d_{531} + d_{532}) C_{1H}^0 \quad (4.143)$$

$$v_{510} = S_1 C_{1H}^0$$

iar diferențele de nivel compensate vor fi:

$$h_{530-531} = h'_{530-531} + v_{530-531}$$

$$h_{531-532} = h'_{531-532} + v_{531-532} \quad (4.144)$$

$$h_{510} = h'_{510} + v_{510}$$

Se procedează în mod asemănător pe toate secțiunile. Cunoscând diferențele de nivel compensate, se pot ușor calcula cotele definitive aferente întregii rețele nivelitice acolate.

4.3. RIDICAREA DE DETALII ÎN SUBTERAN

Întocmirea completă a planurilor și hărților topografice, evidențierea deformărilor lucrărilor miniere și rectificarea acestora, stabilirea cantităților și volumelor de producție în subteran necesită lucrări topografice de ridicări de detalii.

4.3.1. RIDICAREA DE DETALII ÎN LUCRĂRI MINIERE ORIZONTALE

O lucrare minieră, din punctul topografic al măsurătorilor, calculelor și reprezentărilor grafice se reduce la axa lucrării miniere, care se definește ca intersecția dintre planul vertical de simetrie (VV) și planul orizontal (HH), situat la înălțimea de 1 m față de coroana șinei (fig. XV.62).

Ridicările topografice de detaliu vor fi făcute în condițiile identificării acestei axe, raportate la sistemul topografic de sprijin subteran (fig. XV.63).

Pe lucrarea minieră vor fi semnalizate punctele topografice 501 și 502, cu ajutorul unor fire cu plumb pe lângă care se întinde o ruletă (I) la înălțimea de 1 m față de coroana șinei. Prin metoda ordonatelor și absciselor la intervalele de 1 m,

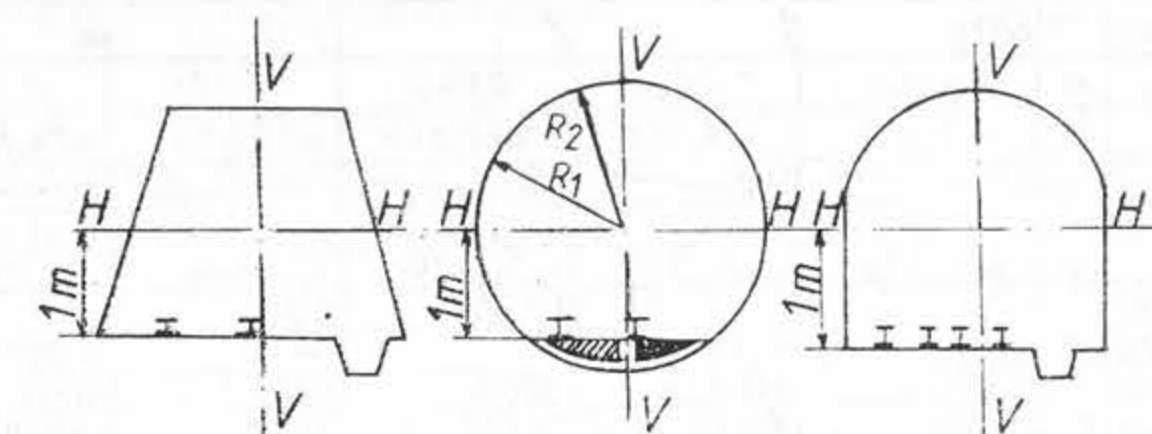


Fig. XV.62. Planele și axele de simetrie ale unor lucrări miniere orizontale.

5 m, 10 m, se vor măsura distanțele de la perete la ruleta (I) făcând citirile: zero la un perete, a_i la ruleta (I) și b_i la cel de al doilea perete. Planul de detaliu al galeriei se obține raportând măsurătorile la rețeaua topografică cunoscută, prin unirea

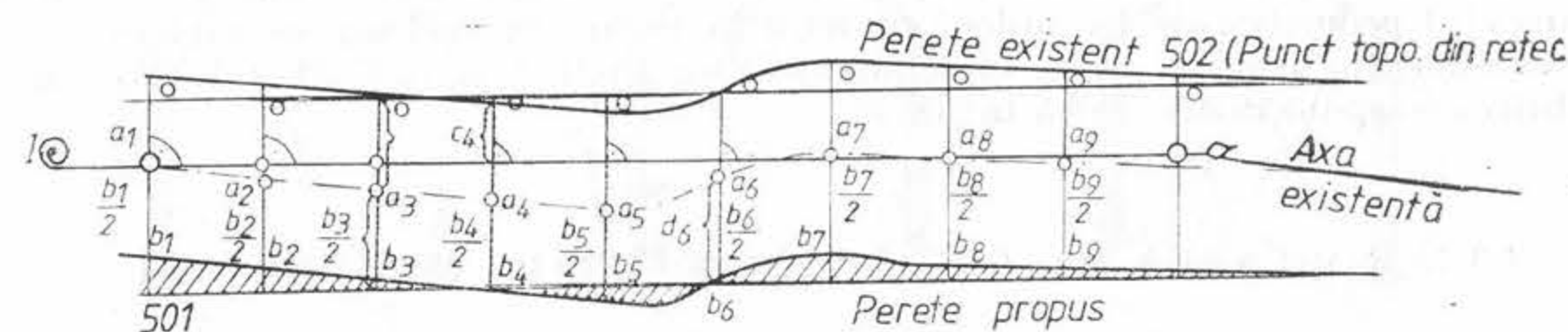


Fig. XV.63. Ridicarea de detalii în lucrări miniere orizontale.

punctelor de același fel. Axa reală a lucrării miniere se găsește la poziția $b_i/2$ pentru fiecare secțiune. Pentru eventuala rectificare a galeriei se trasează noua axă și conturul pereților, după care vor fi măsurate grafic, în fiecare secțiune, distanțele propuse de la pereții laterali față de ruleta (I): c_i stînga și d_i dreapta.

Nivelitic, ridicarea topografică se face prin întocmirea unui profil longitudinal la nivelul coroanei șinei sau, în lipsa acesteia, la nivelul vetrei lucrării miniere. Ca element de sprijin este utilizat un reper de nivelment din rețeaua nivelitică de sprijin, iar ridicarea nivelitică se face funcție de gradul de detaliu impus, utilizând nivelmentul geometric cu o echidistanță de 5 m sau 10 m.

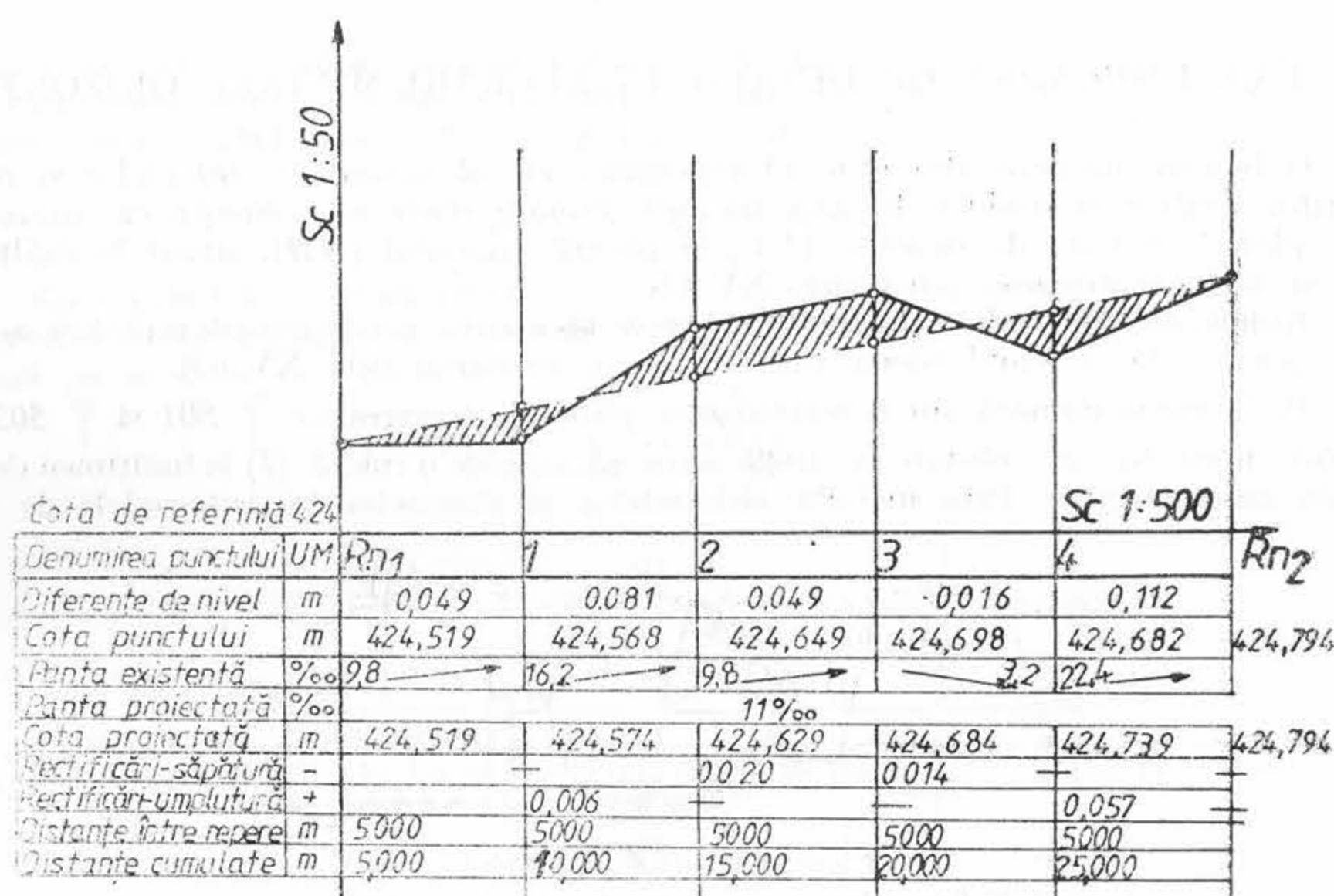


Fig. XV.64. Profil longitudinal de detaliu printr-o lucrare minieră orizontală.

În baza măsurătorilor executate, se va întocmi profilul longitudinal al lucrării miniere (fig. XV.64).

Când se impune și ridicarea topografică a tavanului lucrării miniere, se execută nivelmentul geometric de la mijloc, cu mira la tavan, în aceleași secțiuni în care se face nivelmentul pentru vatră, întocmindu-se un profil longitudinal dublu, cu grafic și rubrici corespunzătoare vatră-tavan.

4.3.2. RIDICAREA DE DETALII ÎN LUCRĂRI MINIERE VERTICALE

Puțul vertical de mină este definit, din punct de vedere constructiv, printr-o axă verticală rezultată prin intersecția a două plane verticale de simetrie. În secțiune, puțul se caracterizează printr-o serie de axe după cum urmează (fig. XV.65):

— (I, I) (II, II) axele secundare de transport rezultate din unirea mijloacelor ghidajelor perechi;

— (III, III) axa principală de transport ca medie a celor două axe secundare;

— (IV, IV) axa principală longitudinală a puțului ce cuprinde centrul geometric (C) al puțului;

— (V, V) axa transversală a puțului (simetrică).

Axa principală de transport (III, III) este paralelă cu axa principală longitudinală (IV, IV) a puțului și se găsește la distanța m — decalajul axelor; E — centrul de extracție; E_I și E_{II} — centrele secundare de transport.

Prin ridicarea de detaliu în lucrarea minieră verticală (puțul vertical de mină) se urmărește întocmirea, în baza măsurătorilor topografice, a planului de detaliu al secțiunilor succesive ale puțului pe întreaga sa înălțime.

După gradul de detaliu impus, se stabilesc pe înălțimea puțului o serie de secțiuni de ridicat (relevu) alese la echidistanțe de 5, 10 sau 20 m de la gura înspre jomul puțului. Operația de măsurare pe puț se execută degrevând momentan puțul de transport, iar operatorii topografi vor lucra pe colivia unui compartiment al puțului, (cealaltă colivie va fi suspendată în turnul puțului), colivie ce va coborî și opri la fiecare secțiune de relevu. În prima fază, vor fi fixate reperele de sprijin (A, B, C, D) (de la gura puțului înspre jom) în pereții puțului, pentru fiecare secțiune,

în locuri ușor accesibile. Măsurătorile vor consta în (fig. XV.66) poziționarea reciprocă a reperelor principale prin măsurarea tuturor distanțelor posibile (ab, ac, ad, bc, bd, cd). Faza a II-a va consta în ridicarea de detalii în raport cu reperele principale (ABCD), din jom înspre gura puțului, a tuturor punctelor caracteristice: capetele moazelor (a, b, c, d, e, f), ghidajelor (g_1, g_2, g_3, g_4), neregularități ale puțului (n, p), — metoda utilizată fiind intersecția distanțelor. Vor fi măsurate cel puțin două distanțe de la punctul de detaliu a la reperele de sprijin (aB, aC) (a_iD, g_iB) (nB, nC);

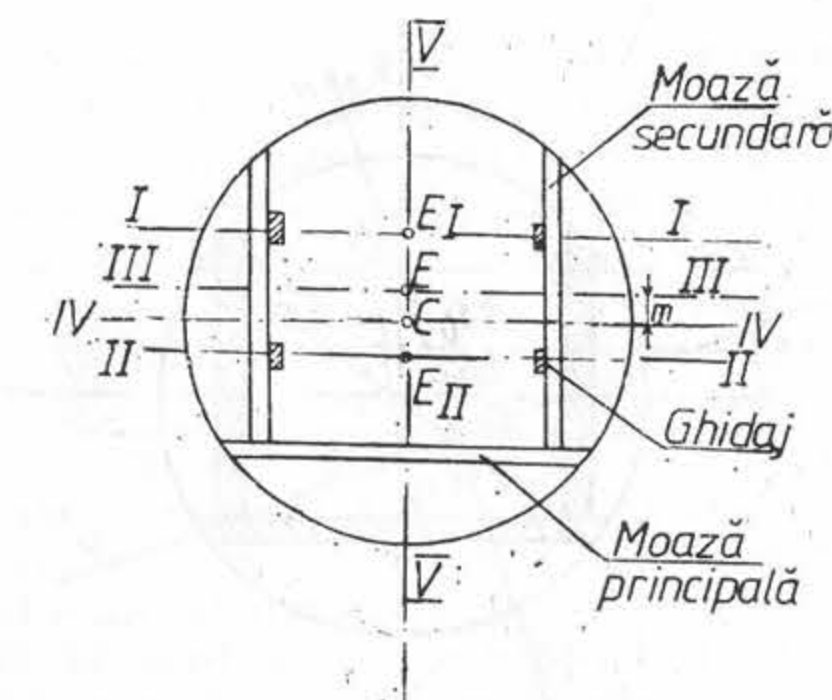


Fig. XV.65. Axele puțului vertical de mină.

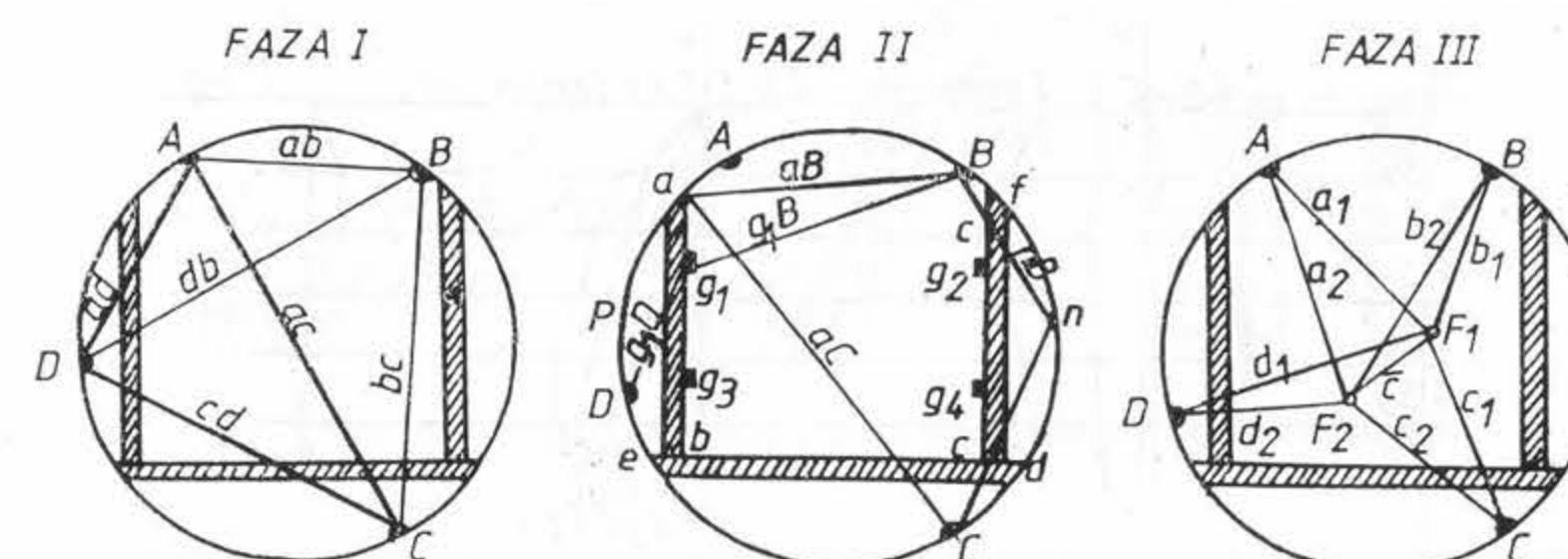


Fig. XV.66. Ridicarea detaliilor în puțul vertical de mină.

În faza a III-a se va poziționa fiecare secțiune în raport cu un sistem unic constând din două fire metalice F_1, F_2 lestate în secțiunea coliviei suspendată momentan din circulație. Se măsoară toate distanțele posibile dintre reperele de sprijin (A, B, C, D) și cele două fire (F_1, F_2) și, de asemenea, distanța dintre fire \bar{e} pentru control.

Planele înclinate, suitorile și puțurile se recepționează și se evidențiază în aceleași condiții, cu observația că măsurătorile sînt sprijinite pe coroana șinei orizontului de la care a fost atacată lucrarea minieră respectivă.

Realizările sînt evidențiate pe reprezentările în secțiune a lucrărilor miniere și în formulare tip.

4.3.4. RECEPȚIA ȘI EVIDENȚA PRODUCȚIEI REALIZATE ÎN ABATAJE

Eșalonarea în timp a perioadelor de recepție a cantităților extrase în subteran este aceeași ca în cazul lucrărilor miniere.

Lucrările topografice de recepție și evidență a cantităților exploatare constau în măsurarea elementelor caracteristice golurilor create. Funcție de tipul de zăcămint și metoda de exploatare sînt utilizate metode corespunzătoare.

Zăcămintele stratiforme cu înclinare mică. Caracteristice sînt zăcămintele de cărbune la adîncime mică, în care abaterea substanței minerale utile se face cu exploziv (fig. XV.70) sau mecanizat, cu ajutorul combinelor (fig. XV.71).

În primul caz linia frontului fiind neregulată, aceasta va fi ridicată cu o bună precizie, utilizînd metoda coordonatelor rectangulare pe coardă. În acest scop se va utiliza ca sprijin rețeaua topografică existentă în zona respectivă. Astfel se va întinde o ruletă *I* între punctele 506 și 507 aparținînd rețelei topografice în galeria de bază (G_b). În frontul de lucru se întinde o a doua ruletă *II*, cît mai aproape de linia frontului, în dreptul citirii F_{II} pe ruleta *I*. Cu o a treia ruletă *III* se va constitui un triunghi de legătură, făcîndu-se citirile corespunzătoare I_{III} pe ruleta *I*, II_{III} pe ruleta *II* și III_{III} pe ruleta *III*. Față de ruleta *III* perpendiculare vor fi măsurate distanțele (a_i) pînă la front și citirile pe ruleta *II* (b_i).

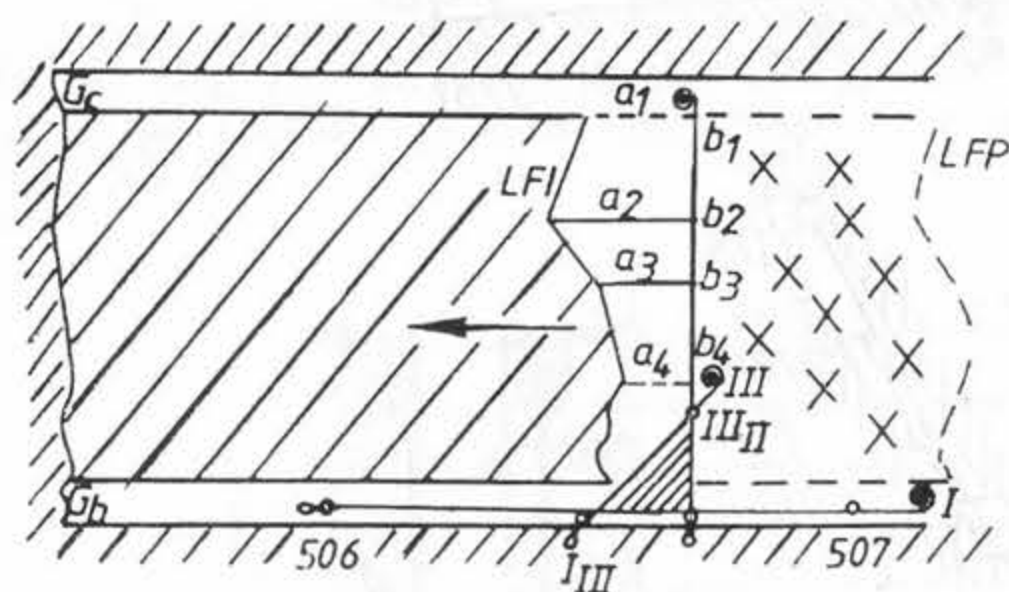


Fig. XV.70. Ridicarea liniei frontului în abataje de cărbune cu perforare-impușcare.

În cursul lunii vor fi măsurate înălțimile abatajului cu o densitate de circa 5 m. Pe planul abatajului vor fi raportate datele obținute în subteran, în ordinea în care au fost făcute observațiile. Unind punctele de același fel din front, se va obține linia frontului. Suprafața exploatată în cursul lunii respective va fi mărginită de linia frontului de la sfîrșitul lunii precedente (LFP), linia frontului la sfîrșitul lunii încheiate (LFI) și conturul celor două galerii de bază (G_b) și de capăt (G_c), suprafață care se va planimetra de cel puțin două ori, rezultînd $S_{I/81}$, suprafață exploatată în luna martie 1981.

Volumul exploatat V va rezulta ca produsul dintre înălțimea medie, h_m , în cursul lunii,

$$h_m = \frac{\sum_{i=1}^n h \cdot i}{n} \quad (4.145)$$

și suprafața planimetrată

$$V_{I/81} = S_{I/81} \cdot h_m \quad [m^3]. \quad (4.146)$$

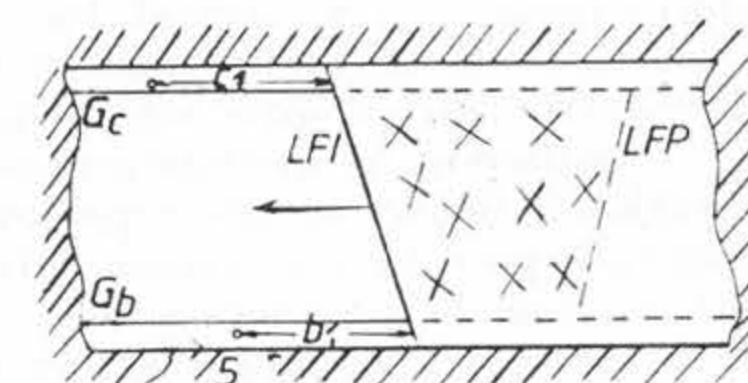


Fig. XV.71. Ridicarea liniei frontale la abataje de cărbune cu front lung și combină.

După obținerea liniei frontului este necesar indicarea în abataj a liniei corecte a liniei frontului, situată perpendicular pe sensul de înaintare a abatajului.

Dacă abaterea se face prin metode mecanizate (fig. XV.71), linia frontului este oarecum rectilinie, ridicîndu-se topografic ca atare.

Lucrările topografice sînt sprijinite pe puncte topografice (512, 509) față de care se măsoară cu ruleta poziția liniei frontului: b_1 față de 512 și c_1 față de 509.

Se raportează pe planul abatajului linia frontului la sfîrșitul lunii încheiate (LFI), plan pe care se găsește și linia frontului la sfîrșitul lunii precedente (LFP). Se va proceda, în continuare, ca în cazul arătat anterior pentru obținerea volumului exploatat în cursul lunii încheiate.

Zăcămintele stratiforme cu înclinare mare. La aceste tipuri de zăcămint, metodele topografice utilizate în evidențierea volumelor excavate fac uz de descompunerea golurilor create în corpuri geometrice simple a căror volume pot fi ușor identificate

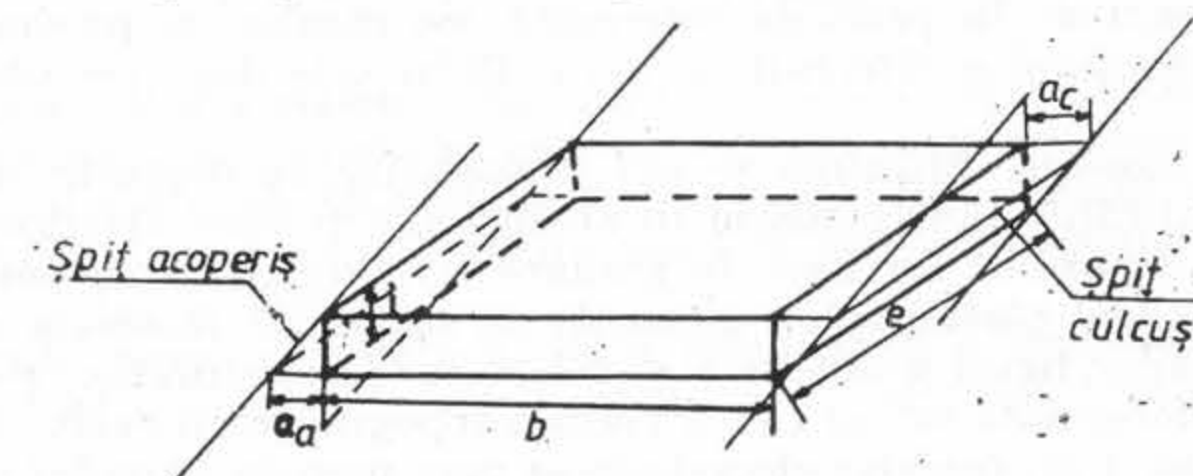


Fig. XV.72. Recepția producției în abataje de cărbune cu înclinare mare.

prin măsurători simple, urmînd ca volumul total să rezulte prin însumarea volumelor parțiale. Astfel se procedează atît în cazul metodei în trepte cît și în cazul exploatare în felii orizontale. În acest ultim caz, va fi evidențiat separat volumul de cărbune rezultat din spîțuri unde măsurătorile se fac pentru înălțimea feliei, adîncimea spîțului și lungimea spîțului (fig. XV.72).

Volumul total pentru felie este:

$$V = i \cdot l \left[b + \frac{1}{2} (a_a + a_c) \right] \quad (4.147)$$

Cantitatea corespunzătoare:

$$Q = V \cdot \gamma$$

unde: γ este masa volumetrică

De asemenea, va fi evidențiată separat cantitatea de cărbune extrasă din stratul subțire însoțitor (ex. stratul Paprică în Valea Jiului).

În unele cazuri se practică o normă comună aferentă — m^3 (t) de cărbune extras pentru felie, în care sînt însumate cantitățile extrase, inclusiv spîțuri și Paprică.

Indiferent de metoda utilizată, la minele de cărbune echipele de lucru vor plasa în vagonete mărci metalice pentru cîntărirea cantității de cărbune la gura minei, în cazul transportului cu vagonete. În cazul transportului cu benzi va fi evaluată cantitatea totală la gura minei.

Cantitatea la gura minei va fi corelată cu cantitatea livrată preparațiilor (neconcordanță provenită datorită conținutului de steril).

Cu acest factor de corecție (K), specific fiecărei luni, vor fi corectate cantitățile excavate de fiecare brigadă de mineri în parte.

Zăcămintele de minereu. Problema recepției și evidenței producției realizate este foarte dificilă datorită formei neregulate și poziției în spațiu a filonului. În această situație vor fi apreciate volumele prin descompunerea golurilor rezultate în forme geometrice simple, volume ce vor fi apoi corelate cu cantitățile la gura minei. În cazul abatajelor de minereu, producția se evaluează, exclusiv, pe baza volumelor măsurate. Se urmărește în principal ridicarea topografică a conturului abatajului respectiv, contur ce se ridică, de regulă, prin metoda polară și se figurează pe harta filonului. Suprafața abatajului se planimetrează.

Mai important este de determinat linia tavanului în abatajul respectiv, linie ce se determină prin nivelment geometric cu mira așezată la tavan și care va fi raportată pe secțiunea verticală a filonului.

În aceeași secțiune se va regăsi și linia tavanului, corespunzător preluării anterioare. Volumul excavat în perioada interesată va rezulta ca produs între suprafața planimetrată a abatajului și diferența de cotă dintre cele două preluări a liniei de tavan.

Evaluarea stocului. Stocurile se pot înmagazina în depozite sau pe platforme. Volumele sau cantitățile înmagazinate în stocuri pot fi ușor identificate la preluările lunare, deoarece depozitele au linii de gradare a volumelor corespunzătoare înmagazinărilor. Pentru cazul platformelor, stocurile de substanță minerală utilă se vor constitui sub forma unor figuri geometrice și calculate corespunzător volumelor. Pentru stocuri cu formă neregulată se vor ridica planuri topografice cu curbe de nivel cu echidistanță de 0,5 sau 1 m, calculul efectuîndu-se prin metoda curbelor de nivel (metoda secțiunilor orizontale) sau prin metoda secțiunilor verticale.

4.3.5. EVALUAREA PRODUCȚIEI REALIZATE ÎN CARIERE

În cariere volumele excavate sînt mult mai mari decît în cazul exploatărilor miniere subterane. Evaluarea producției se va face și în aceste condiții la intervale indicate în cazul exploatărilor subterane.

În raport cu tipul de carieră, metoda de exploatare, posibilitățile de aplicare a metodelor de evaluare, sînt utilizate în principal: *metoda curbelor de nivel* și *metoda secțiunilor*, metode care au aplicare direct topografică.

De remarcat faptul că metoda stereofotogrammetrică terestră face apel la metoda curbelor de nivel.

Metoda curbelor de nivel. Cunoscută și sub denumirea de *metoda secțiunilor orizontale*, metoda curbelor de nivel constă, în ridicarea planului cu curbe de nivel cu echidistanța de 1 m sau 5 m, în raport cu o cotă de referință unică și stabilă, la intervale de timp de 1 de 3 sau 6 luni.

Diferența între curba de nivel la începutul intervalului și curba de nivel de aceeași cotă la sfîrșitul intervalului va contura suprafața exploatată corespunzătoare curbei de nivel. Suprafața va fi planimetrată de cel puțin două ori. Volumul excavat va fi dat de suprafața medie între două curbe consecutive înmulțită cu echidistanța (e) dintre curbele de nivel:

$$V = e \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (S_i + S_{i+1}) \quad [m^3] \quad (4.148)$$

O variantă a acestei metode, des utilizată, este *metoda înălțimilor medii*. Metoda propune, ca și în cazul precedent, determinarea tahimetrică a unui număr suficient de puncte de conturare a suprafeței exploatate (S_i). Totodată se fac măsurători și se determină cota medie a treptei (H_{mi+1}). Cunoscînd suprafața (S_i) și cota medie (H_{mi}) a preluării anterioare, volumul rezultă din relația:

$$V_{i,i+1} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} (H_{mi} - H_{mi+1}) \quad [m^3] \quad (4.149)$$

suprafețele S_i , S_{i+1} sînt determinate prin cel puțin două planimetrări (sau dacă se cunosc coordonatele punctelor de contur pot fi determinate analitic).

Volumul total se determină prin însumarea volumelor parțiale pe trepte, făcîndu-se distincție între util și steril:

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (S_i + S_{i+1}) (H_{mi} - H_{mi+1}) \quad (4.149')$$

Metoda secțiunilor verticale. Aplicarea metodei în teren începe prin fixarea în carieră a unor profile transversale cu cariera, de preferință paralele între ele și avînd tot de preferință o echidistanță constantă e între 20—50 m. Materializarea în teren a profilelor se va face cu puncte fixe în afara zonei de exploatare stabilă, față de rețeaua topografică de sprijin a carierei.

Măsurătorile constau în determinarea tahimetrică a unor puncte caracteristice din direcția profilului în albia carierei, care vor fi raportate grafic pe secțiunile cu profilele respective.

Avînd măsurată și linia albiei din preluarea precedentă, va rezulta, pe profilul i , suprafața S_i excavată în intervalul respectiv, care va fi planimetrată de cel puțin două ori*).

Volumul excavat între două profile (i și $i + 1$) va fi:

$$V_{i,i+1} = e_{i,i+1} \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \quad [m^3] \quad (4.150)$$

Volumul total va rezulta prin însumarea volumelor dintre profile.

*) Această prevedere este impusă în special de faptul că planimetrul are o eroare admisibilă de 5%, ceea ce ar asigura o determinare acceptabilă a volumelor excavate.

4.4. STRĂPUNGERI MINIERE

Problemele miniere de străpungeri apar în cazul lucrărilor de proiectare a minelor noi sau de extindere a celor existente, ca și în mai toate fazele de lucru în subteran privind deschiderea, pregătirea și exploatarea zăcămintelor de substanțe minerale utile, oferind documentația grafo-analitică de punere în operă a elementelor proiectate.

4.4.1. STRĂPUNGerea ÎNTRE DOUĂ PUNCTE TOPOGRAFICE

Pentru proiectarea legăturii între două puncte topografice în subteran este necesar a fi cunoscute coordonatele și cotele celor două puncte. Presupunând că legătura respectivă este un preabataj, elementele topografice ce trebuiesc cunoscute sînt: rețeaua topografică planimetrică în zona respectivă și rețeaua nivelitică (fig. XV.73).

Aceste elemente vor fi: — pentru galeria 5 punctul \odot_{501} (x_{501} , y_{501}) orientarea $\theta_{501,502}$ și cota reperului nivelitic R_{n5} : H_5 .

— pentru galeria b punctul \odot_{601} (x_{601} , y_{601}), orientarea, $\theta_{601,602}$ și cota reperului nivelitic R_{n6} : H_6 . Punctele de capăt ale străpungerii se stabilesc în subteran, prin coordonatele lor. În oricare din cazuri se va face poziționarea punctelor în subteran prin măsurarea sau impunerea distanței orizontale pînă la punctele de atac. Punctele de străpungeri S_1 și S_2 vor avea coordonate:

$$\odot_{S_1} \begin{cases} x_1 = X_{501} + a \cos \theta_{501,502} \\ y_1 = Y_{501} + a \sin \theta_{501,502} \end{cases} \quad \odot_{S_2} \begin{cases} x_2 = X_{601} + b \cos \theta_{601,602} \\ y_2 = Y_{601} + b \sin \theta_{601,602} \end{cases} \quad (4.151)$$

Se stabilesc prin nivelment geometric de la mijloc cotele la vatră ale punctelor de atac ale străpungerii:

$$\begin{aligned} H_1 &= H_{Rn5} + l_{Rn5} - l_{S_1} \\ H_2 &= H_{Rn5} + l_{Rn5} - l_{S_2} \end{aligned} \quad (4.152)$$

Se calculează orientarea străpungeri θ_{12} cu una din relațiile:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta_{12} &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y_{1,2}}{\Delta x_{1,2}} \\ \operatorname{ctg} \theta_{12} &= \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{\Delta x_{1,2}}{\Delta y_{1,2}} \end{aligned} \quad (4.153)$$

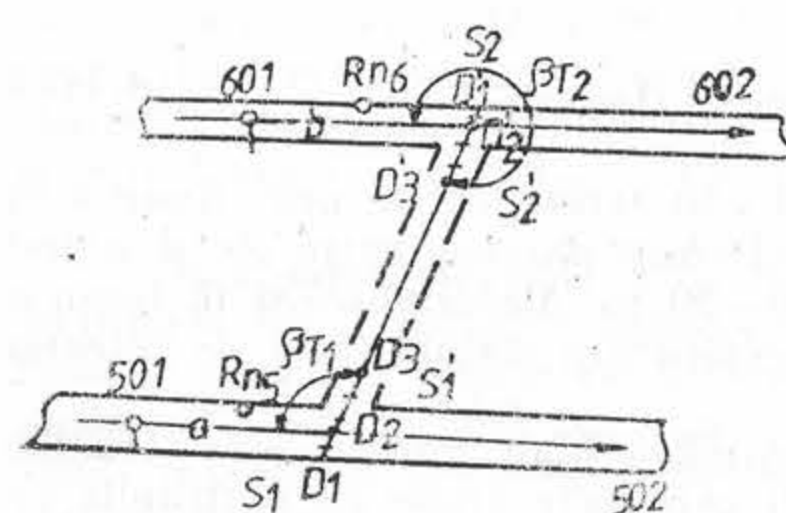


Fig. XV.73. Legătura între două puncte.

și se verifică cu una din relațiile:

$$\operatorname{tg} (\theta_{12} + 50^\circ) = \frac{\Delta x_{12} + \Delta y_{12}}{\Delta x_{12} - \Delta y_{12}} \quad (4.154)$$

$$\operatorname{ctg} (\theta_{12} + 50^\circ) = \frac{\Delta x_{12} - \Delta y_{12}}{\Delta x_{12} + \Delta y_{12}}$$

Elementele de trasare ale galeriei după direcție vor fi unghiurile de trasare β_{T_1} , β_{T_2} ce se vor măsura în punctele de atac ale străpungerii S_1 respectiv S_2 , avînd mărimile:

$$\beta_{T_1} = \theta_{12} - \theta_{502,501} \quad (4.155)$$

$$\beta_{T_2} = \theta_{21} - \theta_{602,601} \quad (4.156)$$

În cazul cînd lucrarea proiectată este plan înclinat, atunci vor fi proiectate refugii pe direcția străpungerii, prin calculul unor puncte retrase (S'_1 , S'_2) pe direcția aliniamentului, la distanțele d_1 și d_2 impuse de normele de proiectare

$$\odot_{S'_1} \begin{cases} X_{S'_1} = X_{S_1} + d'_1 \cos \theta_{12} \\ Y_{S'_1} = Y_{S_1} + d'_1 \sin \theta_{12} \\ H_{S'_1} = H_{S_1} \end{cases} \quad \odot_{S'_2} \begin{cases} X_{S'_2} = X_{S_2} + d'_2 \cos \theta_{21} \\ Y_{S'_2} = Y_{S_2} + d'_2 \sin \theta_{21} \\ H_{S'_2} = H_{S_2} \end{cases} \quad (4.157)$$

$$\odot_{S'_2} \begin{cases} X_{S'_2} = X_{S_2} + d'_2 \cos \theta_{21} \\ Y_{S'_2} = Y_{S_2} + d'_2 \sin \theta_{21} \\ H_{S'_2} = H_{S_2} \end{cases} \quad (4.158)$$

În ambele cazuri se va săpa din galerie 2—3 m, după care vor fi materializate pentru direcție cel puțin 3 fire topografice (provizorii), plasate atît în față cit și în spatele punctului de stație: D_1 , D_2 , D_3 , și D'_1 , D'_2 , D'_3 , fire cu care va fi condusă, după direcție, în continuare galeria în săpare. Din cînd în cînd se revine cu aparatul în stație și se prelungeste direcția prin plantarea altor puncte de direcție, mai aproape de frontul de lucru.

Așezarea susținerii față de direcția firului cu plumb se face la distanță a (denumită *abștig*), ce se menține constantă pe toată durata efectuării lucrării (fig. XV.74).

Totodată vor fi calculate elementele de conducere a lucrării miniere și după pantă sau după înclinarea proiectată, în baza următoarelor calcule. Diferența de nivel dintre punctele S_1 (S'_1) și S_2 (S'_2) va fi:

$$\Delta h_{12} = H_{S_2} - H_{S_1} \quad (4.159)$$

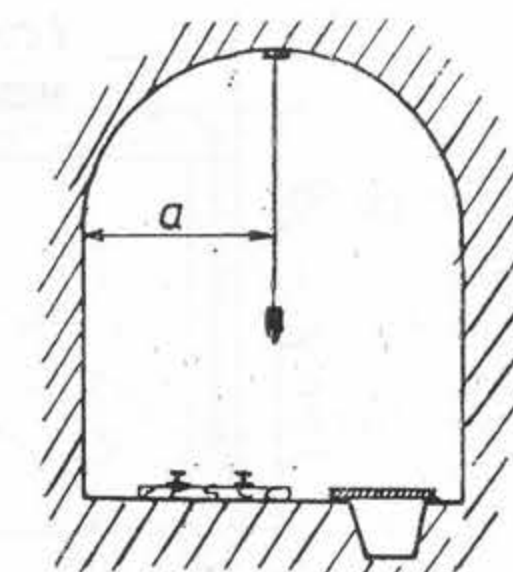


Fig. XV.74. Conducerea după direcție a lucrărilor miniere orizontale.

Lungimea reală a străpungerii:

$$l_{12} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2 + \Delta h_{12}^2} \quad (4.160)$$

Lungimea orizontală a străpungerii:

$$s_{12} = \frac{\Delta x_{12}}{\cos \theta_{12}} = \frac{\Delta y_{12}}{\sin \theta_{12}} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2} \quad (4.161)$$

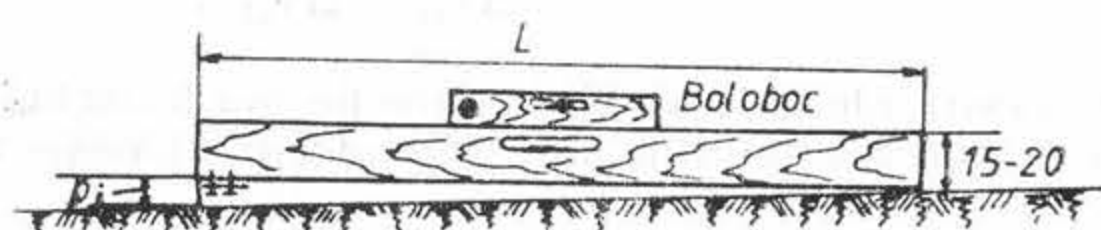


Fig. XV.75. Laț de pantă.

Panta lucrării miniere (galeriei)

$$p_{\%} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}} \cdot 100 \text{ sau } p_{0/00} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}} \cdot 1000 \quad (4.162)$$

Sau, înclinarea lucrării miniere (plan înclinat, suitoare)

$$\operatorname{tg} \varphi_{12} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}}; \quad \sin \varphi_{12} = \frac{\Delta h_{12}}{l_{12}}; \quad \cos \varphi_{12} = \frac{s_{12}}{l_{12}} \quad (4.163)$$

Pentru galerii de înclinare mică conducerea în săpare se va face cu ajutorul lațului de pantă (fig. XV.75) (din lemn) ce va avea lungimea L de 2 m sau 3 m cu un pinten metalic a cărui înălțime p_i este funcție de pantă, și un boloboc pentru orizontalizare.

$$p_i = \frac{L \cdot p_{\%}}{100} \text{ sau } p_i = \frac{L \cdot p_{0/00}}{1000} \quad (4.164)$$

Lațul de pantă se așază pe șina de cale, sau pe vatră, cu pintenul înspre frontul de lucru pentru pantă și cu pintenul în spatele frontului de lucru pentru rampă.

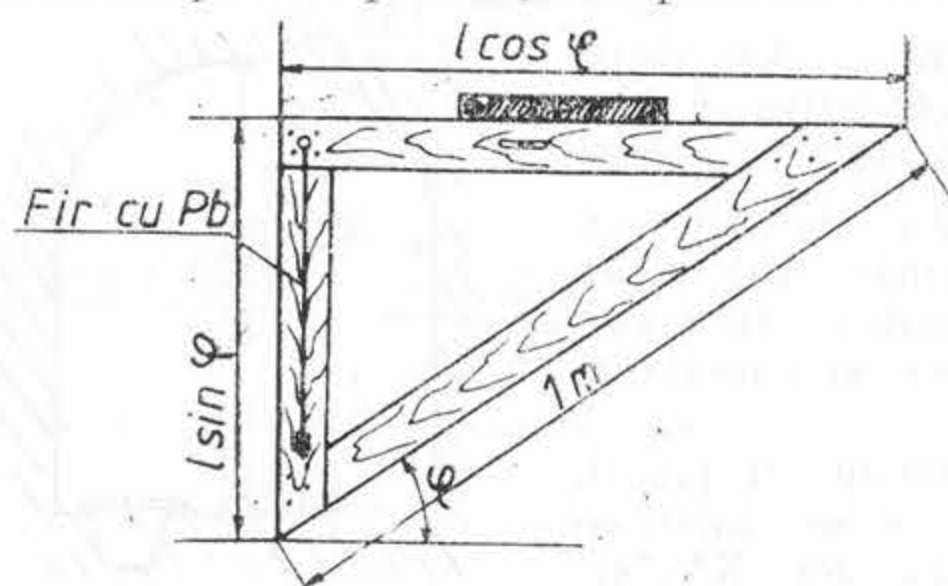


Fig. XV.76. Echer de înclinare (pantă).

Pentru planele înclinate și suitori va fi confecționat din lemn un echer de înclinare (fig. XV.76) avind o ipotenuză de 1 m. Catetele vor fi calculate corespunzător unghiului de înclinare al lucrării miniere.

Pentru utilizarea corectă a echerului de înclinare se va orizontaliza o latură cu ajutorul unui boloboc sau se va verticaliza cealaltă latură cu ajutorul unui fir cu plumb, conform fig. XV.76.

În cazul planelor înclinate, echerul de pantă se așază cu ipotenuza pe vatra lucrării miniere sau pe linia de cale, iar pentru suitori se așază direct pe armătură la vatră, controlindu-se cu el totodată perpendicularitatea granturilor.

4.4.2. RACORDAREA ALINIAMENTELOR

Este o lucrare de străpungere cu curbă circulară între două alinamente, la care trebuie îndeplinită condiția de continuitate a traseului necesar circulației la transportul cu vagonete (fig. XV.77).

Elementul prioritar este raza curbei de racordare R impusă de: obiectul transportului, viteza de circulație, ecartament etc.

Rezolvarea racordării din punct de vedere topografic impune:

- cunoașterea sau calculul orientării aliniamentului I $\theta_I = \theta_{501,502}$;
- cunoașterea sau calculul orientării aliniamentului II $\theta_{II} = \theta_{601,602}$;

— unghiul de vîrf ω rezultat din diferența $\omega = \theta_{II} - \theta_I$;

— tangenta curbei de racordare $t = R \operatorname{ctg} \omega$;

— calculul coordonatelor vîrfului curbei de racordare prin intersecție înainte

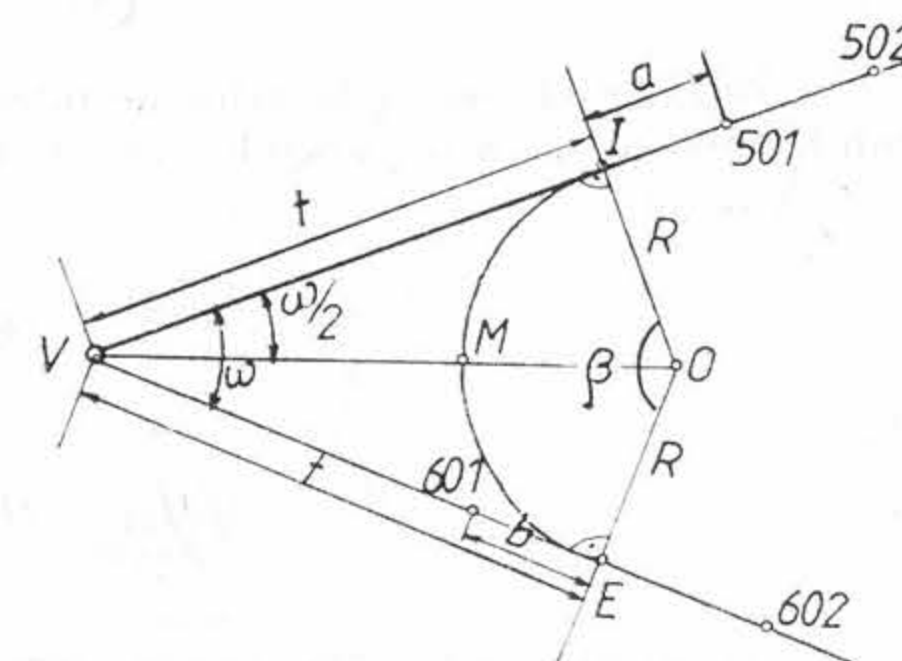


Fig. XB.77. Racordarea cu curbe circulare a aliniamentelor subterane

$$x_v = \frac{y_{601} - y_{501} + x_{501} \operatorname{tg}(\theta_I + 200^\circ) - x_{601} \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^\circ)}{\operatorname{tg}(\theta_I + 200^\circ) - \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^\circ)}$$

$$y_v' = y_{501} + (x_v - x_{501}) \operatorname{tg}(\theta_I + 200^\circ) \quad (4.165)$$

$$y_v'' = y_{601} + (x_v - x_{601}) \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^\circ)$$

$$y_v = \frac{y_v' + y_v''}{2}$$

— calculul din coordonate a distanței $V-501$ și $V-601$ cu relațiile (4.161), din care se va scădea tangenta la curbă t , rezultînd (a și b), distanțele pînă la punctele de intrare respectiv ieșire din curbă:

● dacă distanța rezultă pozitiv atunci pînă la punctul de atac mai este de săpat (ex: a);

● dacă distanța rezultă negativ atunci punctul de atac se găsește în spatele ultimului punct din frontul de lucru (ex: b);

— calculul coordonatelor punctului I de intrare în curbă

$$\odot I \begin{cases} x_I = x_{501} + a \cos(\theta_I \pm 200^\circ) \\ y_I = y_{501} + a \sin(\theta_I \pm 200^\circ) \end{cases} \quad (4.166)$$

— calculul coordonatelor punctului de ieșire din curbă

$$\odot E \begin{cases} x_E = x_{601} + b \cos \theta_{II} \\ x_F = y_{601} + b \sin \theta_{II} \end{cases} \quad (4.167)$$

— calculul cotei punctelor de intrare și ieșire din curbă se face inițial prin calculul cotei la vatră a punctelor 501 și 601

Astfel:

$$H_I = H_{501} + a \frac{p_{I0/00}}{1000}$$

$$H_{II} = H_{601} + b \frac{p_{II0/00}}{1000} \quad (4.168)$$

— calculul pantei pe galerie rezultată prin procedeul și relațiile (4.162);

— calculul lungimii orizontale l a curbei de racordare se face notînd:

$$\beta = 200^g - \omega$$

$$l = \frac{2\pi R}{400} (200^g - \omega) \quad (4.169)$$

sau:

$$l = \frac{\pi R}{200^g} \cdot \beta$$

— calculul pantei curbei de racordare:

$$p_{0/00} = \frac{H_I - H_E}{l} 1000 \quad (4.170)$$

— calculul lungimii reale L a curbei de racordare

$$L = \sqrt{l^2 + (H_I - H_E)^2} \quad (4.171)$$

Conducerea în săpare a lucrărilor miniere curbe. Elementele de proiectare a lucrării miniere în curbă vor fi raportate pe un plan la o scară cit mai mare (1:20).

Pe același plan va fi raportat conturul pereților laterali ai galeriei conform tipului și monografiei de susținere (fig. XV.78).

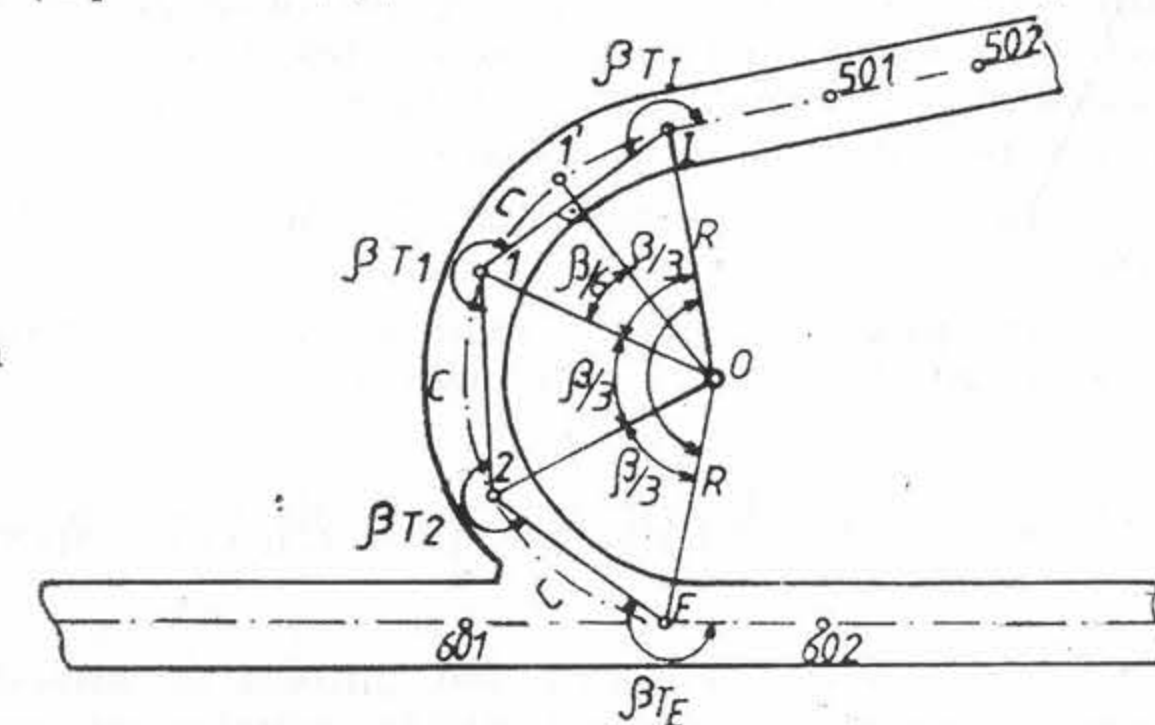
În zona ramificației, la trecerea de la galeria dreaptă la curbă, va fi trasat pînă la lățime de 0,50 m, în poziție simetrică față de cele două lucrări. Din punctul I în punctul E va trebui împărțită curba sub forma unui poligon cu laturi egale în interiorul conturului galeriei (lucru ce se realizează prin tatonare, urmărind obținerea minimului de coarde). Elementele de trasare conform figurii vor fi:

— unghiurile de trasare

$$\beta_{TI} = \beta_{TE} = 200^g + \frac{1}{2} \beta/3 \quad (4.172)$$

$$\beta_{T1} = \beta_{T2} = 200^g + \beta/3 \quad (4.173)$$

Fig. XV.78. Planul de trasare a galeriei în curbă.



— coardele de trasare

$$c = 2R \sin \frac{1}{2} \beta/3 \quad (4.174)$$

În subteran se va proceda la săparea a 2–3 m de galerie fără o conducere riguroasă, după care se va staționa cu aparatul într-un punct de stație (ex. I) și se va viza direcția coardei cu unghiul de trasare calculat (β_{TI}) direcție ce se va materializa prin cel puțin 3 fire cu plumb.

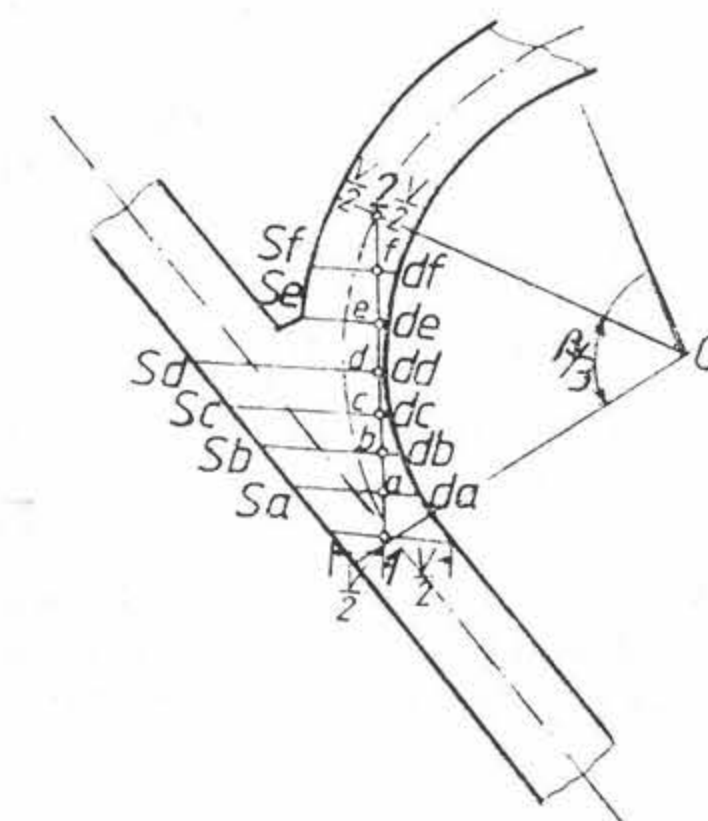
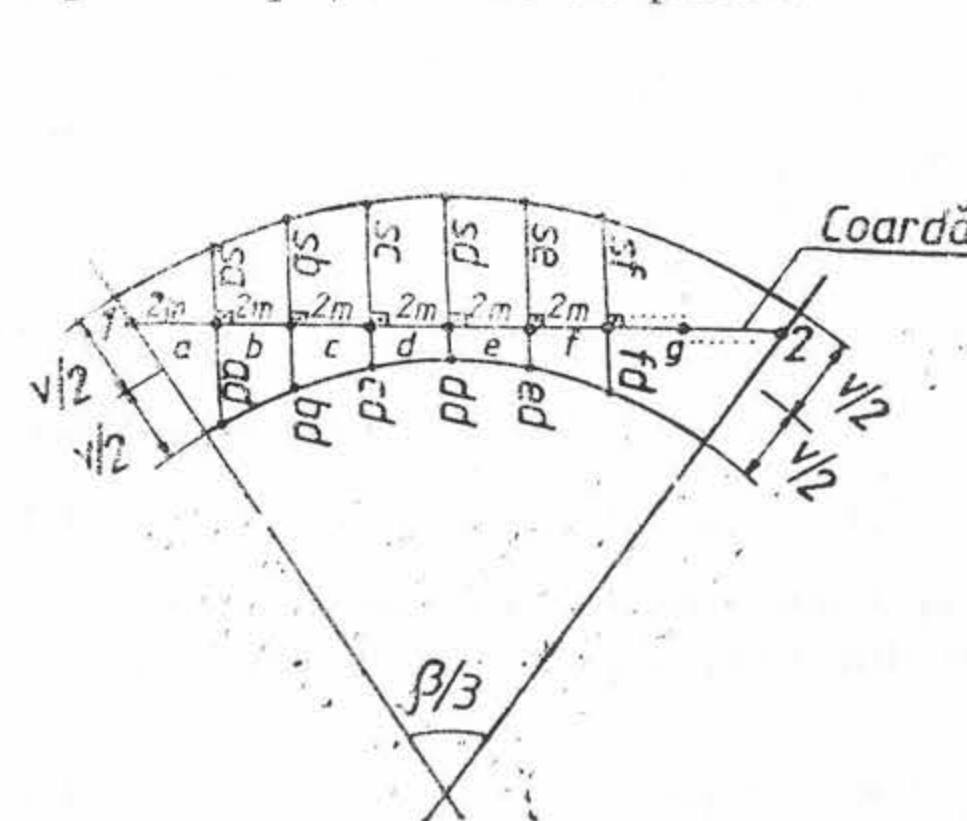


Fig. XV.79. Trasarea lucrărilor miniere curbe. Fig. XV.80. Trasarea ramificațiilor.

Așezarea în galerie a susținerii se va face față de această direcție, prin metoda coordonatelor rectangulare pe coardă. Astfel, pe un plan la o scară cit mai mare (1:20) se va raporta numai sectorul de cerc interesat cu elementele de trasare ale pereților galeriei, direcția și lungimea coardei (fig. XV.79 și 80).

Practic coarda va fi împărțită în segmente de 1 sau 2 m, la capătul cărora vor fi trasate perpendiculare. Vor fi măsurate grafic și transpuse la scară măsurile distanțelor de la coardă până la pereți, măriri ce vor fi înscrise corespunzător în afara galeriei. Modelul rămâne valabil pentru toate sectoarele identice ale galeriei curbe.

În cazul armăturilor individuale (lemn, metalice), cadrele trebuie să convergă către centrul curbei, caz în care se vor plasa grafic armăturile în mod radial, cu o distanță maximă (cîmpul mare) la peretele lateral exterior ce nu va depăși 1,00 m. Va fi calculată — sau măsurată — distanța între armături la peretele interior (cîmpul mic), în rest procedeul fiind asemănător.

În cazul ramificațiilor (fig. XV.80) procedeu este identic, adaptat la condițiile respective.

Din punct de vedere nivelitic lucrarea va fi dirijată cu ajutorul latului de pantă, confecționat și utilizat corespunzător.

4.4.3. PROBLEME DE TOPOGRAFIE MINIERĂ

Sub această denumire sînt întîlnite o serie de străpungeri miniere cu condiții inițiale ce au importante aplicații în practica minieră la proiectarea lucrărilor miniere orizontale, înclinate, verticale, probleme de minim. Aceste probleme sînt grupate astfel încît rezolvarea să fie unică pentru multe din ele, cum ar fi: intersecția lucrărilor miniere cu strate, intersecții pe strate, probleme ce se reduc la intersecții de drepte și plane în spațiu. În practica minieră, elementele de definire ce caracterizează o lucrare minieră sînt: un punct $P_1(x_1, y_1, z_1)$ de pe axa unei galerii, θ_1 orientarea axei și înclinarea φ_1 a axei. Practic elementele de definire a unei drepte sînt: $D_1[P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$.

Ecuția unei drepte ce trece printr-un punct, de direcție și înclinare, are forma:

$$(D_1) \frac{x - x_1}{\alpha_1} = \frac{y - y_1}{\beta_1} = \frac{z - z_1}{\gamma_1} = \lambda \quad (4.175)$$

unde: $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ — sînt cosinuzii directori ai drepte, adică

$$\alpha_1 = \pm \cos \varphi_1 \cos \theta_1; \beta_1 = \pm \cos \varphi_1 \sin \theta_1 \quad (4.176); \gamma_1 = \pm \sin \varphi_1; \lambda = \text{parametru.} \quad (4.177)$$

Vectorul unitar \vec{p}_1 al drepte D_1 , ce caracterizează direcția drepte, are forma:

$$\vec{p}_1 = \alpha_1 \vec{i} + \beta_1 \vec{j} + \gamma_1 \vec{k} \quad (4.178)$$

unde: $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ — sînt versorii unitari corespunzători axelor x, y și z .

Considerînd în mod corespunzător o altă dreaptă D_2 , atunci unghiul ω dintre cele două drepte este dat de:

$$\cos \omega = \alpha_1 \alpha_2 + \beta_1 \beta_2 + \gamma_1 \gamma_2 \quad (4.179)$$

sau în mod corespunzător:

$$\cos \omega = \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) + \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \quad (4.180)$$

Un plan (Q) este individualizat printr-un punct $P_0(x_0, y_0, z_0)$, orientarea θ_p care este direcția orientării unei orizontale a planului și înclinarea V a planului care

este unghiul de înclinare a liniei de cea mai mare pantă. Recapitulînd, planul (Q) este dat de $[P_0(x_0, y_0, z_0), \theta_p, V]$.

Ecuția unui plan (Q) ce conține punctul $P_0(x_0, y_0, z_0)$ și este perpendicular pe o dreaptă dată (normal la plan) ai cărui cosinuzi directori sînt α, β și γ , echivalenți cu α_p, β_p , și respectiv γ_p , este dată de relația:

$$(Q) \alpha_p(x - x_0) + \beta_p(y - y_0) + \gamma_p(z - z_0) = 0 \quad (4.181)$$

în care: $\alpha_p = \pm \sin V \sin \theta_p$

$$\beta_p = \mp \sin V \cos \theta_p \quad (4.182)$$

$$\gamma_p = \cos V$$

Făcîndu-se uz de aceste cunoștințe generale, pot fi rezolvate o serie de probleme topografice miniere:

4.4.3.1. Cea mai scurtă galerie de la un punct la o altă galerie

Fie un punct cunoscut $P_2(x_2, y_2, z_2)$ de la care să se ducă cea mai scurtă galerie la o lucrare minieră cunoscută $D_1(P_1, \varphi_1, \theta_1)$.

Condiția ca dreapta să fie cea mai scurtă impune ca lucrarea proiectată să fie conținută într-un plan la care să fie normală dreapta cunoscută (D_1); fie acest plan planul (S) care conține punctul P_1 și care va avea ca normală dreapta (D_1). Ecuția planului este:

$$(S) (x - x_2) \alpha_1 + (y - y_2) \beta_1 + (z - z_2) \gamma_1 = 0 \quad (4.183)$$

unde α, β și γ — sînt cosinuzii directori ai normalei la planul (S) , respectiv ai dreptei (D_1) obținuți din relațiile (4.182);

x, y și z — sînt coordonatele punctului unde dreapta înțeapă planul sau punctul unde dreapta proiectată întîlnește galeria (D_1) cunoscută.

Scriînd ecuația drepte conform relației (4.185) și descompunînd se obține:

$$\begin{cases} x = x_2 + \lambda \alpha_1 \\ y = y_2 + \lambda \beta_1 \\ z = z_2 + \lambda \gamma_1 \end{cases} \quad (4.184)$$

care înlocuite în ecuația planului (Q) :

$$(x_1 + \lambda \alpha_1 - x_0) \alpha_p + (y_2 + \lambda \beta_1 - y_0) \beta_p + (z_2 + \lambda \gamma_1 - z_0) \gamma_p = 0 \quad (4.185)$$

singura necunoscută fiind parametrul λ care rezultă:

$$\lambda = \frac{(x_0 - x_2) \alpha_p + (y_0 - y_2) \beta_p + (z_0 - z_2) \gamma_p}{\alpha_1 \alpha_p + \beta_1 \beta_p + \gamma_1 \gamma_p} = \frac{d}{\cos \omega} \quad (4.186)$$

Cum însă normala la plan coincide cu dreapta cunoscută (D_1), rezultă că:

$$\alpha_1 \alpha_p + \beta_1 \beta_p + \gamma_1 \gamma_p = 1$$

$$\text{deci } \cos \omega = 1; \omega = 0$$

atunci:

$\lambda = d =$ distanța pe normală dată de

$$\lambda = d = (x_0 - x_2) \alpha_p + (y_0 - y_2) \beta_p + (z_0 - z_2) \gamma_p \quad (4.187)$$

care înlocuită în ecuația dreptei (5.184) va reda mărimile coordonatelor x , y și z unde dreapta înțeapă planul, deci unde dreapta proiectată întâlnește galeria (D_1).

Cu aceste coordonate pot fi calculate

- orientarea dreptei cu relația (4.153);
- lungimea orizontală a dreptei (4.161);
- diferența de nivel între capetele lucrării proiectate (4.169);
- lungimea reală a dreptei (4.160);
- înălțimea lucrării miniere proiectate (4.163).

4.4.3.2. Intersecția dintre o galerie și un zăcămint

Geometric problema rezolvă intersecția dintre o dreaptă $D_1 [P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$ și un plan $Q [P_0(x_0, y_0, z_0), \theta_p, V]$.

Ecuația planului conform relației (5.181) este cunoscută, cosinușii directori ai planului fiind cosinușii directori ai normalei la plan (4.182).

Ecuația dreptei (D_1) este dată de (4.175), în care cosinușii directori sînt dați de (4.176). Ca dreapta să intersecteze planul, înseamnă că punctul curent al dreptei $P(x, y, z)$ verifică atât ecuația dreptei (4.175) cît și a planului (4.181). Se vor înlocui ecuațiile (4.184) în ecuația planului (4.181), rezultînd de aici mărimea parametrului λ (4.186) în care d este distanța de la punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ aparținînd dreptei și punctul de intersecție cu planul $P(x, y, z)$, deci lungimea galeriei pe dreapta D_1 ; λ reprezentînd distanța pe normală ce conține punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$, iar ω este unghiul format de galeria cunoscută și normala la plan.

Coordonatele punctului de intersecție $P(x, y, z)$ vor rezulta înlocuind parametrul λ (4.186) în sistemul de ecuații (4.184).

Modul de rezolvare a acestei probleme conduce la rezolvarea altor probleme privind condiționarea poziției acestei drepte față de plan.

Astfel, dreapta proiectată ce conține punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ trebuie să fie cea mai scurtă la zăcămint și orizontală; aceasta se exprimă astfel:

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g \quad (4.188)$$

$$\varphi_1 = 0 \quad (4.189)$$

rezultă astfel că $\gamma_1 = 0$ și ca atare:

$$\lambda = \frac{d}{\cos \omega} \quad (4.190)$$

iar

$$\omega = 100 - V; \lambda = \frac{d}{\sin V}$$

impunînd aceste condiții și verificări, procedeul rămîne același ca în cazul expus, rezultînd coordonatele punctului $P(x, y, z)$.

Sau alt caz, ca *dreapta proiectată să fie cea mai scurtă la zăcămint*. Aceasta înseamnă că dreapta proiectată să fie normală la zăcămint:

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g; \varphi_1 = 100 - V \quad (4.191)$$

Cosinușii directori ai dreptei sînt identici cu cosinușii directori ai planului:

$$\alpha_1 = \alpha_p; \beta_1 = \beta_p; \gamma_1 = \gamma_p$$

$$\alpha_1 \alpha_p + \beta_1 \beta_p + \gamma_1 \gamma_p = 1$$

$$\cos \omega = 1; \omega = 0$$

și atunci:

$$\lambda = (x_1 - x_0) \alpha_p + (y_1 - y_0) \beta_p + (z_1 - z_0) \gamma_p = d \quad (4.192)$$

care se înlocuiește în (4.184), rezultînd coordonatele punctului unde cea mai scurtă galerie întâlnește zăcămintul.

O altă condiție ar fi aceea ca *dreapta să fie cea mai scurtă la zăcămint*:

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g$$

și să aibă o înclinare φ_1 ; în aceste condiții se va rezolva ca:

$$\lambda = \frac{d}{\cos \omega}$$

și ca verificare

$$\omega = 100 - (V \pm \varphi_1)$$

Parametrul λ se calculează corespunzător relației (4.186) și se înlocuiește în (4.184), rezultînd coordonatele punctului $P(x, y, z)$, unde dreapta cea mai scurtă de înclinare φ_1 întâlnește zăcămintul.

Și în fine, dacă dreapta (D_1) se impune a fi verticală

$$\varphi_1 = 100^g$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = 0 \\ \beta_1 = 0 \\ \gamma_1 = 1 \end{cases}$$

procedeul este același, iar pentru control λ rezultat va satisface relația:

$$\lambda = \frac{d}{\cos \omega}$$

$$\omega = V$$

Coordonatele x și y sînt identice cu x_1 și respectiv y_1 , iar z se determină cu λ prin înlocuirea în (4.184). Rezultă astfel punctul unde un puț vertical ce conține punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ întâlnește zăcămintul Q în $P(x_1, y_1, z)$.

4.4.3.3. Intersecția dintre o falie și un zăcămint

Reprezentată din punct de vedere geometric intersecția dintre două plane, rezultând o linie de intersecție. Ca două plane să se intersecteze, trebuie ca ele să nu fie paralele sau să se confunde și aceasta poate fi ușor sesizat prin neegalitatea cosinuşilor directori ai normalelor la plan. În general, ecuația planului (Q) ce trece prin trei puncte $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$ și $P_3(x_3, y_3, z_3)$ are forma:

$$(Q) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ x - x_3 & y - y_3 & z - z_3 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.193)$$

unde x , y și z — sint coordonatele curente ale planului.

Sau ecuația unui plan (Q) care trece printr-un punct $P_1(x_1, y_1, z_1)$ și este paralel la două direcții date, prin cosinuşii directori respectivi $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1; \alpha_2, \beta_2, \gamma_2$,

$$(Q) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.194)$$

ori făcînd notațiile:

$$\begin{aligned} A &= \beta_1\gamma_2 - \beta_2\gamma_1 = [\beta\gamma]_{12} \\ B &= \gamma_1\alpha_2 - \gamma_2\alpha_1 = [\gamma\alpha]_{12} \\ C &= \alpha_1\beta_2 - \alpha_2\beta_1 = [\alpha\beta]_{12} \end{aligned} \quad (4.195)$$

se obține ecuația generală a planului (Q):

$$(Q) A(x - x_1) + B(y - y_1) + C(z - z_1) = 0 \quad (4.196)$$

Sau, sub o altă formă, notînd cu:

$$D_1 = -Ax_1 - By_1 - Cz_1$$

se va obține o altă ecuație generală a planului

$$(Q) Ax + By + Cz + D = 0 \quad (4.196')$$

în care: A , B și C — sint parametrii directori ai normalei la plan sau, ecuația normală a planului

$$(Q) (x - x_1)\alpha_p + (y - y_1)\beta_p + (z - z_1)\gamma_p = 0 \quad (4.197)$$

care s-a obținut prin împărțirea ecuației generale (4.196) cu

$$\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$$

iar rapoartele:

$$\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \alpha_p; \quad \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \beta_p; \quad \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \gamma_p \quad (4.198)$$

sint tocmai cosinuşii directori ai normalei la plan sau cosinuşii directori ai planului (Q).

Ecuația (4.194) mai poate fi considerată ca ecuația planului, care cuprinde o dreaptă și este paralelă la o a doua dreaptă. Dacă într-adevăr punctul P_1 , prin care trece planul, se găsește pe dreapta (D_1) și această dreaptă este paralelă cu planul, înseamnă deci că se găsește cuprinsă în plan.

Scriind ecuațiile planelor sub formă generală:

$$\begin{aligned} (Q) & \begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \\ (P) \begin{cases} A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0 \end{cases} \end{cases} \end{aligned} \quad (4.199)$$

prin rezolvarea sistemului format se obține linia de intersecție a celor două plane. Pentru a se determina elementele dreptei de intersecție și anume orientarea θ_i și înclinarea φ_i , se va scrie dreapta sub forma:

$$\frac{x - x_0}{\alpha_i} = \frac{y - y_0}{\beta_i} = \frac{z - z_0}{\gamma_i} \quad (4.200)$$

În sistemul de ecuații (4.201) se observă că sint două ecuații cu trei necunoscute, unde poate fi dată o valoare arbitrară uneia din necunoscute, exemplu ($z = z_0$) rezultînd apoi celelalte necunoscute: ($x = x_0$) și ($y = y_0$), deduse din calcul. Analizînd determinanții minori din:

$$\begin{pmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 & D_2 \end{pmatrix} \quad (4.201)$$

se poate concluda pentru care necunoscută se poate lua valoarea arbitrară.

Procedînd așa cum s-a arătat, va rezulta $P_0(x_0, y_0, z_0)$ care va fi comun atît planelor (Q) și (P) cît și liniei de intersecție (D_0). Alegînd o altă valoare arbitrară a necunoscutei z , va rezulta un punct $P_3(x_3, y_3, z_3)$ care va fi de asemenea comun, atît planelor (Q) și (P) cît și dreptei (D_0). Elementele dreptei (D_0) vor fi deduse cu relațiile (4.153), (4.159), (4.160), (4.161), (4.163).

În altă ordine de idei, după găsirea punctului $P_0(x_0, y_0, z_0)$ pot fi scrise ecuațiile planelor (Q) și (P) ce conțin punctul comun P_0 .

$$(Q) (x - x_0)A_1 + (y - y_0)B_1 + (z - z_0)C_1 = 0 \quad (4.202)$$

$$(P) (x - x_0)A_2 + (y - y_0)B_2 + (z - z_0)C_2 = 0$$

Și aceste două ecuații reprezintă linia de intersecție.

Dacă se împarte sistemul cu ($z - z_0$) și se rezolvă în raport cu:

$$\frac{x - x_0}{z - z_0} \text{ și } \frac{y - y_0}{z - z_0}$$

se obține:

$$\frac{x - x_0}{z - z_0} = \frac{D_1}{D_3}; \quad \frac{y - y_0}{z - z_0} = \frac{D_2}{D_3} \quad (4.203)$$

unde D_1 , D_2 , D_3 — sint determinanții minori.

Din (4.203) rezultă:

$$\frac{x - x_0}{D_1} = \frac{y - y_0}{D_2} = \frac{z - z_0}{D_3} \quad (4.204)$$

deci dreapta de intersecție a fost pusă sub forma caracteristică, cu deosebirea că D_1 , D_2 și D_3 sînt parametrii directori ai dreptei.

Pentru a obține cosinușii directori ai dreptei, trebuie să existe:

$$\alpha_1 = \frac{D_1}{D}; \beta_1 = \frac{D_2}{D}; \gamma_1 = \frac{D_3}{D} \quad (4.205)$$

unde:

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2} \quad (4.206)$$

Ținînd seama de:

$$\alpha_i = \pm \cos \varphi_i \cos \theta_i; \beta_i = \pm \cos \varphi_i \sin \theta_i; \gamma_i = \sin \varphi_i \quad (4.207)$$

rezultă elementele de definire ale dreptei de intersecție

$$\operatorname{tg} \theta_i = \frac{\beta_i}{\alpha_i} = \frac{D_2}{D_1} \text{ rezultă } \theta_i \quad (4.208)$$

sau

$$\sin \varphi_i = \gamma_i$$

și

$$\cos \varphi_i = \sqrt{\alpha_i^2 + \beta_i^2} \text{ rezultă } \varphi_i \quad (4.209)$$

4.4.3.4. Lucrare minieră de legătură dintre două galerii cunoscute

Cunoscînd galeria $D_1 [P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$ și galeria $D_2 [P_2(x_2, y_2, z_2), \theta_2, \varphi_2]$ se urmărește determinarea celei mai scurte galerii MN , adică perpendiculara comună prin identificarea coordonatelor (x_M, y_M, z_M) ale punctului M ce se găsește pe galeria D_1 și coordonatele punctului $N(x_N, y_N, z_N)$ ce se găsește pe galeria D_2 .

Ecuția planului Q care conține dreapta D_1 ale cărei cosinuși directori (4.176) sînt $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ și paralel cu dreapta D_2 ale cărei cosinuși directori (4.176) sînt $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ este:

$$(Q) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.210)$$

Ecuția planului P ce conține dreapta D_2 și este paralel la dreapta D_1 va fi:

$$(P) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.211)$$

Este evident că planele (Q) și (P) sînt paralele, ca atare dreapta căutată MN va fi perpendiculara comună, care deocamdată va fi identificată prin intersecția a două plane: R (care cuprinde dreapta (D_1) și este perpendicular pe planul Q) și S (care cuprinde dreapta (D_2) și este perpendicular pe planul Q) și totodată și pe P .

Ecuțiile celor două plane vor fi:

$$(R) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ [\beta\gamma]_{12} & [\gamma\alpha]_{12} & [\alpha\beta]_{12} \end{vmatrix} = 0 \quad (4.212)$$

$$(S) \begin{vmatrix} x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ [\beta\gamma]_{12} & [\gamma\alpha]_{12} & [\alpha\beta]_{12} \end{vmatrix} = 0 \quad (4.213)$$

sumele simbolice din $[]$ sînt cele din formula (4.195).

Intersecția planului (R) cu planul (S) este tocmai dreapta căutată care, intersectată cu planul (Q) , definește punctul M , iar intersectată cu planul P definește punctul N . Așadar, prin rezolvarea sistemului de ecuații $(R) = 0$, $(S) = 0$ și $(Q) = 0$ rezultă coordonatele x_M, y_M, z_M caracterizînd punctul M , iar din rezolvarea sistemului de ecuații $(R) = 0$, $(S) = 0$ și $(P) = 0$ se definesc coordonatele x_N, y_N, z_N ale punctului N .

Cu aceste coordonate se definesc toate elementele dreptei MN folosind relațiile (4.153), (4.159), (4.160), (4.161) și (4.163).

4.5. STUDIUL COMPORTĂRII SUPRAFETEI SUB INFLUENȚA SPAȚIULUI SUBTERAN EXPLOATAT

În urma exploatării în subteran a zăcămintelor de substanțe minerale utile, se creează goluri, determinînd o schimbare în echilibrul tensiunilor din rocile înconjurătoare. Reechilibrarea acestor tensiuni determină o serie de mișcări în rocile înconjurătoare, mișcări ce se resimt pînă la suprafața zonei respective.

Studiul acestor influențe este necesar pentru punerea în evidență și luarea măsurilor corespunzătoare privind protecția construcțiilor și a apelor ce pot inunda subteranul. Rezultatele studiilor pot fi totodată utilizate în prognozarea influenței la suprafață a spațiului subteran exploatat, în bazine miniere asemănătoare cu cele deja studiate.

4.5.1. CONSTITUIREA STAȚIILOR TOPOGRAFICE DE URMĂRIRE

Stațiile topografice de urmărire a deplasării suprafeței sub influența spațiului subteran exploatat sînt constituite din alinamente longitudinale și transversale de urmărire.

Lungimea alinamentelor este funcție de poziția, grosimea, adîncimea și extinderea zăcămintelor subterane.

Pentru aliniamentele transversale, lungimea unui aliniament se stabilește prin întocmirea unei secțiuni (fig. XV.81) suprafață-subteran transversale pe zăcămint, pe care vor fi măsurate grafic H_A , H_B , H_C , L_E .

Lungimea aliniamentului transversal este dată de:

$$L_{tr} = 30 \text{ m} + (0,35 \text{ ctg } \beta_0) H_A + l_{ET} \cos \alpha + (\text{ctg } \beta_0 + 0,25) H_B + 30 \text{ m}$$

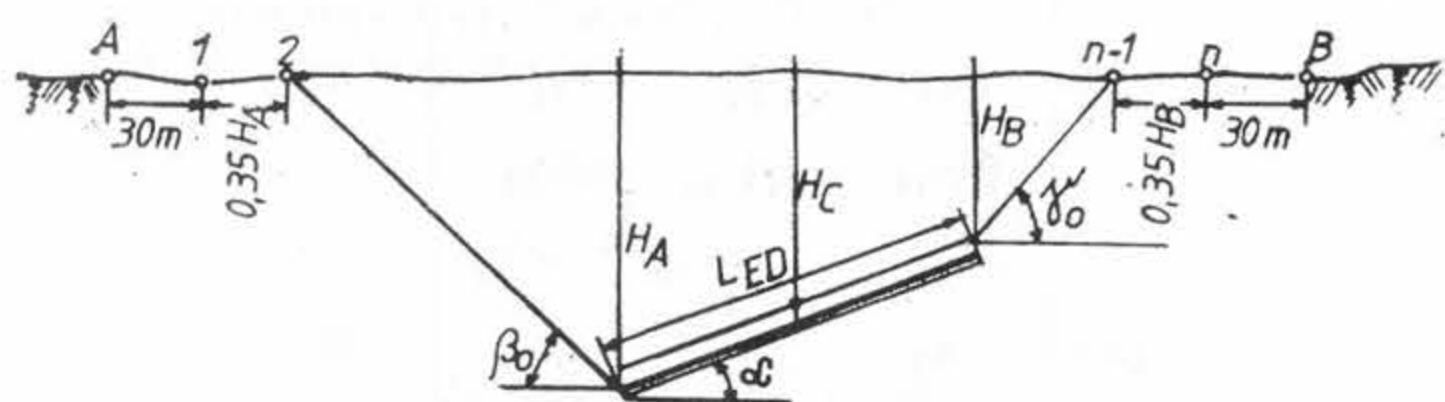


Fig. XV.81. Proiectarea lungimilor aliniamentelor de urmărire.

în care: L este înclinarea stratului

$$\begin{aligned} \beta_0 &= \beta - 18^\circ + 1,5\alpha \\ \gamma_0 &= \gamma - 15^\circ \end{aligned} \quad (4.214)$$

Valorile unghiurilor β , γ și δ au fost stabilite experimental la zăcămintele asemănătoare.

Lungimea aliniamentului direcțional se determină cu relația:

$$L_d = 2[30 \text{ m} + (0,25 + \text{ctg } \gamma_0) H_C + 0,5 L_{ED}] \quad (4.215)$$

în care L_{ED} este lungimea direcțională de exploatare.

Capetele aliniamentului vor fi considerate ca puncte de sprijin și vor fi bornate. Punctele curente din fiecare aliniament vor fi amplasate la o distanță de aproximativ 20 m, marcate prin șini metalice de câte 1 m, bătute în sol la nivelul suprafeței. Poziția inițială de interdistanță (20 m) va fi marcată prin chernăruire. Trasarea stației va fi făcută conform secțiunii transversale și longitudinale, care va consta în coliniaritatea reperelor și a chernăruirilor.

După o perioadă de timp, vor începe operațiile de măsurare bianuală, în care prima măsurătoare va fi considerată măsurătoare „zero” cu elementele înscrise în tabelul XV.5.

Tabelul XV.5

Măsurătoarea „zero”

Cotă punct i	Punct		Dist. oriz. $D_{0,i,i+1}^*$
	i	$i+1$	
100 000	A	1	26,913
86,250	1	2	20,580
80,608	2	3	20,370
⋮	⋮	⋮	⋮

4.5.2. EFECTUAREA MĂSURĂTORILOR

Se vor efectua simultan trei categorii de măsurători topografice și anume:

— măsurarea diferenței de nivel dintre repere pe două trasee, prin nivelment geometric de la mijloc de mare precizie — neînchiderea admisă $\pm 1 \text{ mm}$ între cele două trasee, (aparat Koni 007, eroare $\pm 0,005 \text{ mm/observație}$);

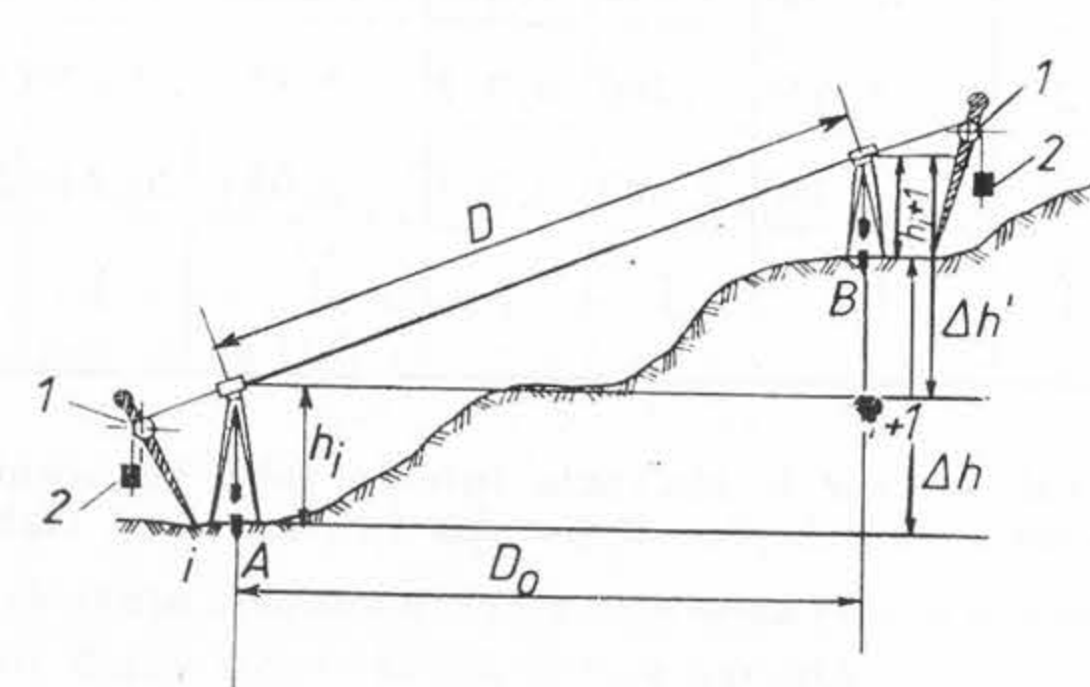


Fig. XV.82. Măsurarea lungimilor:

1 — scripete; 2 — greutate de 10 daN.

— măsurarea distanțelor în mod direct, prin serii de 5 observații, cu origini schimbate, folosind o ruletă întinsă pe scripete cu greutăți calibrate de 10 daN. Punctele sînt semnalizate cu trepiede centrate cu dispozitive adecvate și bastoane de măsurat înălțimea (... h_i , h_{i+1} , ...) (fig. XV.82);

— măsurarea abaterii transversale cu ajutorul unui odontometru cu panou așezat pe ambaza teodolitului, citirile efectuîndu-se pe rigla odontometrului.

Prelucrarea măsurărilor constă în următoarele:

— se calculează diferența de nivel $\Delta h_{i,i+1}$ dintre repere, nefiind admisă o diferență între cele două observații pe trasee pe $\pm 1 \text{ mm}$;

— se calculează media aritmetică a celor 5 observații pentru distanța pe înclinare $D_{i,i+1}$, nefiind admisă o diferență mai mare de $\pm 5 \text{ mm}$ între două măsurători din seria de 5 observații;

— se calculează diferența de nivel h' pe trepiede, cu ajutorul relației:

$$\Delta h'_{i,i+1} = \Delta h_{i,i+1} - h_i + h_{i+1} \quad (4.216)$$

în care $h_{i,i+1}$ se introduce cu semnul respectiv + pentru creșterea diferenței de nivel și - pentru scăderea diferenței de nivel.

Distanța redusă la orizontală D_0 va rezulta din relația:

$$D_{0i,i+1} = \sqrt{D_{i,i+1}^2 - \Delta h_{i,i+1}^2} \quad (4.217)$$

Tabelul XV.6

Prelucrarea mărimilor măsurate

Cota i	Puncte		Δh	h_i	h_{i+1}	$\Delta h'$	D	D_0	Distanță cumulată
	i	$i+1$							
1000,000	A	1	-13,760	1,042	1,200	-13,602	30,050	26,795	26,795
86,240	1	2	-5,639	1,200	0,982	-5,851	21,650	20,843	47,638
80,601	2	3	-3,366	0,982	1,297	-3,051	20,619	20,392	68,030
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Toate aceste calcule vor fi efectuate într-un tabel de forma tabelului XV.6. Rezultatele acestor calcule vor fi înscrise într-un tabel (tabelul XV.7).

Tabelul XV.7

Fișa aliniamentului

Parametri			Picheți	A	1	2	3	4
Determinarea aprilie 1979	1	Distanțe orizontale	m		26,795	20,843	20,392	19,998
	2	Distanțe cumulate	m			26,795	47,638	68,030
	3	Nivelul reperului	m	100,000	86,240	80,601	77,235	
	4	Diferențe de nivel	m			-13,760	-5,639	-3,366
	5	Abateri transvers.	m		0	-1	-3	

4.5.3. INTERPRETAREA REZULTATELOR MĂSURĂTORILOR

Constă în stabilirea unor parametri conform următoarelor definiții.

Scufundarea suprafeței (S_i) este coborîrea nivelului suprafeței zonei respective, în raport cu nivelul inițial al aceleiași zone, după relația:

$$S_i = H_i^* - H_i \text{ [mm]} \quad (4.218)$$

în care: H_i^* este cota punctului la măsurarea zero; H_i — cota curentă a reperului la un moment dat.

Se consideră că un reper de observație este stabil, din punct de vedere nivelitic dacă scufundarea finală este mai mică de 20 mm (triplul erorii de măsurare) pe punct și că mișcarea de scufundare a încetat, dacă între ultimele trei măsurători de nivelment efectuate la intervale de cel puțin 3 luni, scufundarea este mai mică de 20 mm.

Înclinarea suprafeței (I_i) este înclinarea unei zone de la suprafață față de poziția sa inițială; se determină prin raportul dintre diferențele scufundărilor a două repere consecutive de observație și distanța orizontală dintre acestea, cu relația:

$$I_i = \frac{S_{i+1} - S_i}{d_{oi,i+1}} \text{ [mm/m]} \quad (4.219)$$

în care: S_i este scufundarea unui reper; S_{i+1} — scufundarea reperului următor; $d_{oi,i+1}$ — distanța orizontală dintre cele două repere.

Înclinarea este o deformare a suprafeței datorită scufundării și nu are nimic comun cu înclinarea fizică a suprafeței terenului.

Deplasarea orizontală (D_i^0) este deplasarea în plan orizontal a unui punct material situat în zona de influență a exploatării. Se determină prin diferența dintre depărtarea creată și cea inițială cu relația:

$$D_i^0 = D_i^* - D_i \quad (4.220)$$

în care: D_i^* este distanța orizontală dintre cele două repere la măsurătoarea zero; D_i — distanța orizontală dintre repere la măsurarea curentă.

Deformația orizontală (ε_i) este definită ca alungirea (+) sau scufundarea (-) specifică a unei porțiuni de suprafață cuprinsă între două repere de observație, față de distanța orizontală inițială dintre acestea. Sint de fapt întinderile și compresiunile de-a lungul aliniamentului de observație și se calculează cu relația:

$$\varepsilon_i = \frac{D_i^0}{D_i^*} \text{ [mm/m]} \quad (4.221)$$

în care: D_i^0 este deplasarea orizontală a reperului respectiv; D_i^* — distanța orizontală dintre cele două repere la măsurătoarea zero.

Raza de curbura (R_i) este definită ca fiind raza cercului osculator, al curbei dusă prin trei puncte ale acestora și se determină cu relația:

$$R_i = \frac{D_{i,i+2}}{I_{i+1} - I_i} \text{ [km]} \quad (4.222)$$

în care: $D_{i,i+2}$ este distanța între trei puncte consecutive în care punctul i este punctul curent; I_i — înclinarea în punctul curent; I_{i+1} — înclinarea în punctul de mijloc a distanței studiate.

Curbura suprafeței (C) este definită ca limita raportului dintre unghiul de convergență al tangentelor în punctele învecinate și distanța dintre acestea. De fapt este inversă razei de curbura:

$$C_i = \frac{1}{R_i} \text{ [(km}^{-1}\text{)]} \quad (4.223)$$

Toți acești parametri vor fi calculați în tabele adecvate (tabelul XV.8).

Se întocmesc în continuare grafice separate pentru fiecare parametru în parte.

Întreg acest studiu va avea o *Fișă sintetică* în care vor fi trecute cele mai importante caracteristici de constituire și urmărire a evoluției parametrilor. Conținutul fișei

va cuprinde : denumirea stației de urmărire, stratul, blocul, exploatarea minieră, grosimea normală a stratului, înclinarea și configurația suprafeței, adâncimi medii, maxime și minime de exploatare, prezența altor strate în acoperiș, a altor exploatări trecute și prezente, numărul total de puncte de aliniament (separat pe transversal și direcțional), numărul de aliniamente, datele efectuării observațiilor, metoda de exploatare, metoda de dirijare a acoperișului, lungimea cîmpului de abataj, lungimea liniei de frot, lungimea

Tabelul XV.8

Parametrii preluării de observații

Pet.	S_i [mm]	$S_{i+1}-S_i$ [mm]	$I_i = \frac{S_{i+1}-S_i}{d_{i,i+1}}$ [mm/m]	$D_{i+1} - I_i$	$D_{i,i+2}$	$R_{i+1} = \frac{D_{i,i+2}}{I_{i+1}I_i}$ [m/mm]	$C_{i+1} = \frac{1}{R_{i+1}}$	D_i [mm]	$\epsilon_i = \frac{D_i^0}{D_i^*}$
A	0	+10	0,373204	-0,517137	47,638	-92,118	-0,010855	118	+4,4038
1	+10	-3	-0,143933	0,585283	41,235	70,453	0,014938	-263	-11,3227
2	+7	+9	0,44135	-0,76363	39,200	-51,554	0,01939	-18	-0,8826
...

critică a cîmpului de abataj, lungimea critică a liniei de front, rezultatele evoluției parametrilor : S_{max} , I_{max} , D_{max} , ϵ_{max} , R_{max} . Fișa sintetică va conține, de asemenea, unghiurile limită de scufundare (direcțional, în aval și în amonte), unghiurile scufundării maxime, unghiurile de deformății maxime, unghiurile de rupere vizibilă a suprafeței (direcțional, în aval și în amonte).

În final vor fi determinate viteza maximă de scufundare a suprafeței (mm/lună), timpul necesar realizării scufundării maxime (luni), mărimea zonei de exploatare în momentul realizării scufundării maxime, absolute, viteza medie de exploatare (m/lună). Studiul va fi utilizat la dimensionarea și redimensionarea pilierilor de siguranță din zone și bazine miniere asemănătoare cu cea studiată pentru protejarea construcțiilor de la suprafață și protecția subteranului minei.

5. FOTOGRAMMETRIE TERESTRĂ

5.1. DEFINIȚIA ȘI SCOPUL FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Fotogrammetria aparține tehnicilor de măsurare ce își propune să studieze și să definească cu precizie forma, dimensiunile și poziția în spațiu a obiectelor, utilizând în esență măsurători efectuate pe una sau mai multe fotografii ale obiectului.

Avantajele acestei tehnici utilizate în măsurători reies mai ales din caracteristicile imaginilor fotografice :

- dă obiectului o imagine completă, fără posibilități de omisie a detaliilor, foarte amănunțită, continuă și de o mare precizie ;
- informațiile conținute pe imagine se obțin în același moment și au o valoare mare de documentare pentru o anumită stare a obiectului ;
- ca document se manipulează ușor, conservarea fiind practic nelimitată și este disponibil în orice moment pentru control, cercetări ulterioare ;
- poate fi fotografiat orice obiect solid, lichid, mic sau extrem de mare, staționabil sau deformabil în timp, lent sau rapid.

Toate aceste proprietăți arată că fotogrammetria furnizează procedee de măsură și studiu de o mare fidelitate, mai ușor de folosit, mai rapide decât procedeele de măsurare directă.

Procedeele fotogrammetrice se aplică fără dificultate în cazuri în care alte procedee sînt inutilizabile (obiecte inaccesibile, în mișcare, rapide) sau s-ar utiliza cu un randament mic.

Fotogrammetria poate fi : *terestră* sau *aeriană*.

Fotogrammetria terestră se ocupă cu întregul proces, începînd cu preluările fotografice din stații fixe de pe suprafața terestră pînă la reprezentarea lui sub formă analogică sau digitală (model numeric). Prin posibilitatea ei remarcabilă de a înmagazina informații și de a permite măsurători de precizie, se folosește cu foarte mult succes în diferite domenii tehnice dintre care pot fi citate : topografia, industria minieră la suprafață și în subteran, geologie și geotehnic, trasări și deformății ale construcțiilor, alunecări și scufundări de terenuri, urmărirea comportării utilajelor grele în funcționare etc.

Pentru fiecare domeniu de aplicare intervine o caracteristică a condițiilor de efectuare a măsurătorilor.

5.2. BAZA GEOMETRICĂ A FOTOGRAAMELOR

5.2.1. FOTOGRAMA CA PROIECȚIE CENTRALĂ

Imaginea fotografică pe care se efectuează măsurătorile în vederea determinării formei și poziției obiectelor în spațiu se numește *fotogramă* ; din punct de vedere geometric este o proiecție centrală.

Practic, fotograma este obținută cu ajutorul obiectivului fotogrammetric ce are rol de *centru de proiecție* și o poziție bine determinată în spațiu, atît față de obiect cît și de planul pe care se formează imaginea. Razele de proiecție, ce pleacă de la punctele $A, B, C \dots$ din spațiul real și trec prin centrul de proiecție O , formează pe planul imagine punctele imagine $a, b, c \dots$, realizînd astfel o corespondență între punctele corespondente (fig. XV.83). Unui punct imagine a din planul fotogramei pot să-i corespundă însă o

infinitate de puncte din spațiul real A_1, A_2, \dots, A_n . Această corespondență nu mai este univocă. Deci proiecția centrală plană nu este o corespondență biunivocă între punctele spațiului real și imaginile lor pe planul imagine numai în cazuri bine determinate.

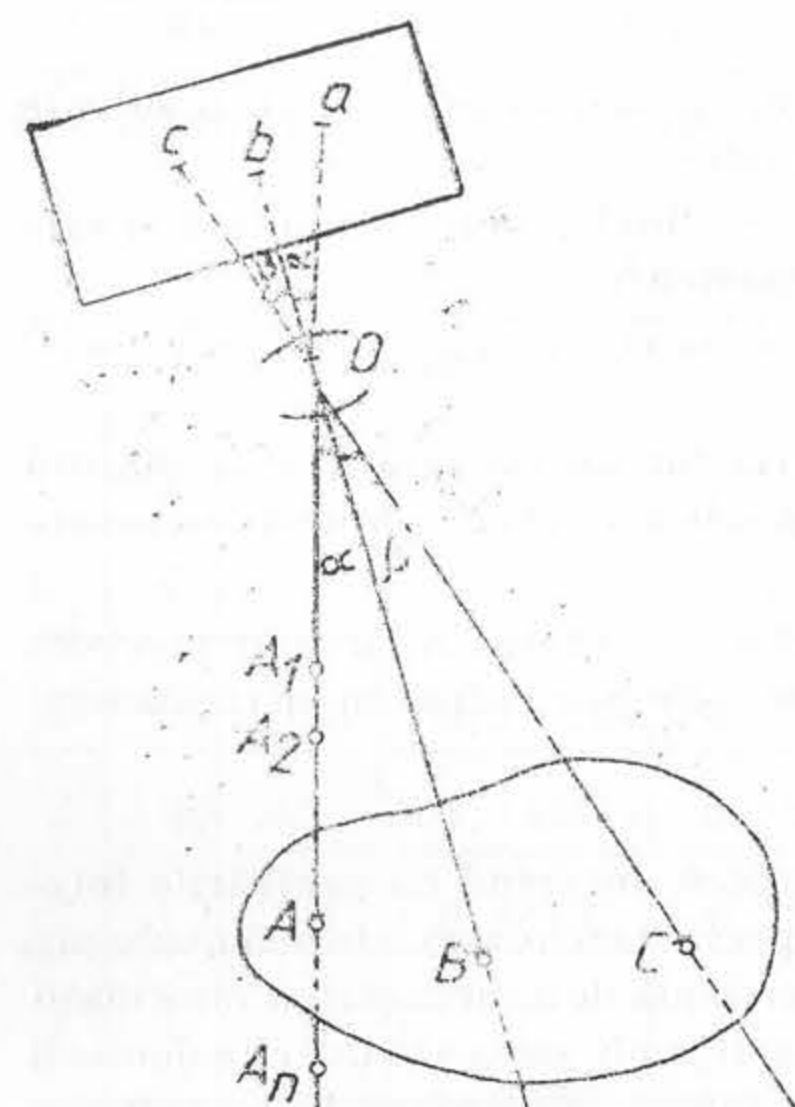


Fig. XV.83. Fotograma ca proiecție centrală.

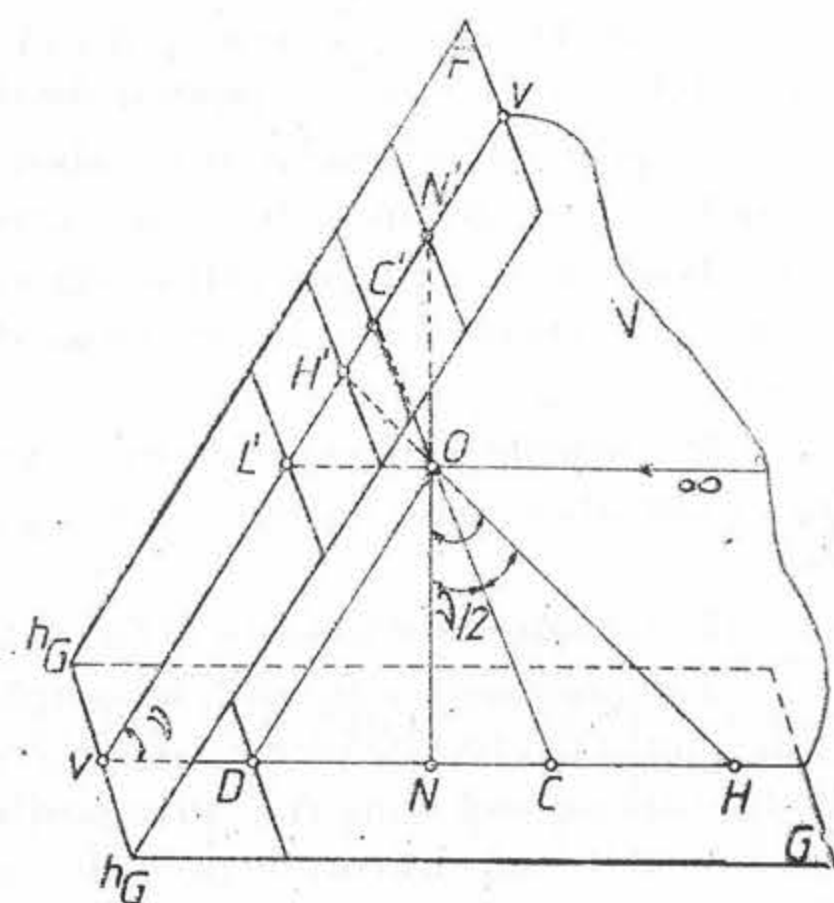


Fig. XV.84. Elementele proiecției centrale.

5.2.2. ELEMENTELE PROIECȚIEI CENTRALE

În figura XV.84 sînt date elementele de bază ale proiecției centrale, ce stabilesc geometria legătura dintre punctele spațiului real și imaginile lor pe perspectiva centrală plană. Astfel:

G este planul geometralului (al terenului), plan orizontal pe care se face proiecția ortogonală a suprafeței terestre;

F — planul imaginii (fotograma);

O — centrul de proiecție (centrul obiectivului fotogrammetric);

V — planul vertical principal (plan vertical ce trece prin O și este perpendicular pe G și F);

vv — verticală principală — intersecția dintre planul vertical principal V și planul imagine F ;

v — unghiul nadiral (înclinarea planului fotogramei față de geometral);

h_G — h_G — orizontală principală (linia de pămînt), linia de intersecție a planului geometralului și al fotogramei. Fiind dreaptă comună între două plane orizontale, paralele cu ea din planul geometralului, își vor forma imaginea tot paralel cu ea pe planul imagine;

H' — punct principal — punctul de intersecție al perpendicularei din O pe planul imagine;

OH' — distanța principală (focală) în cazul obiectivelor fotogrammetrice;

N' — punct nadiral — intersecția verticalei din O cu planul imagine;

N — punct nadir — intersecția verticalei din O cu planul geometralului;

ON — distanța nadirală — înălțimea centrului de proiecție față de geometral;

L' — punct principal de fugă — punctul unde direcția ce trece prin centrul de proiecție O și este paralelă la planul geometralului întâlnește planul imagine. Este punctul caracteristic cu ajutorul căruia se proiectează central dreptele conținute în planul geometralului;

C' — izocentru sau metacentru — intersecția bisectoarei unghiului v și planul fotogramei. Acest punct se numește *punctul deformațiilor nule* deoarece direcțiile ce se sprijină pe el în planul geometralului se proiectează după direcții paralele cu ele pe planul imagine, de asemenea, scara pe toate direcțiile ce trec prin acest punct are o valoare constantă.

Punctele H' , N' , L' și C' se află toate pe verticala principală. Distanțele între aceste puncte se determină cu ajutorul relațiilor:

$$H'N' = f \operatorname{tg} v; \quad H'C' = f \operatorname{tg} \frac{v}{2}; \quad H'L' = \frac{f}{\operatorname{tg} v}; \quad (5.1)$$

$$ON' = \frac{f}{\cos v}; \quad OL' = \frac{f}{\cos v}; \quad OC' = \frac{f}{\cos \frac{v}{2}}; \quad L'N' = \frac{2f}{2 \sin 2v}$$

Dacă planul fotogramei este vertical ($v = 90^\circ$) sîntem în cazul fotogrammetriei terestre. În acest caz:

$$OH' = OL' = H'C' = f \quad (\text{punctul } L' = N') \quad (5.2)$$

$$H'N' = ON' = L'N' = \infty \quad (N' = \infty)$$

$$OC' = f\sqrt{2}$$

5.2.3. SISTEME DE COORDONATE UTILIZATE ÎN FOTOGRAMMETRIE

Pentru stabilirea relațiilor între proiecție și obiectul real se vor considera sisteme de coordonate convențional alese, în care se pot ordona punctele imagine, respectiv punctele reale (ale obiectului) (fig. XV.85). Sistemele de coordonate sînt astfel definite încît corespund indicațiilor internaționale.

a) Sistemul de coordonate fotogrammetrice este un sistem rectangular plan, cu originea în punctul principal H' , axele sistemului sînt definite de direcțiile ce unesc indicii de referință ai fotogramei. Pentru fotogrammetria terestră aceste axe sînt x' , z' .

b) Sistemul de coordonate (spațial (X, Y, Z)) cu originea în centrul de proiecție. Direcția axei Z este verticală, iar axa Y corespunde cu direcția de fotografiere în foto-

grammetria terestră. Axa X este perpendiculară pe Y și paralelă cu axa x' a planului imagine.

c) Sistemul de coordonate geodezic ($\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$) este definit, de asemenea, în spațiul real și este adoptat la nivelul țării sau local de unitatea topografică respectivă.

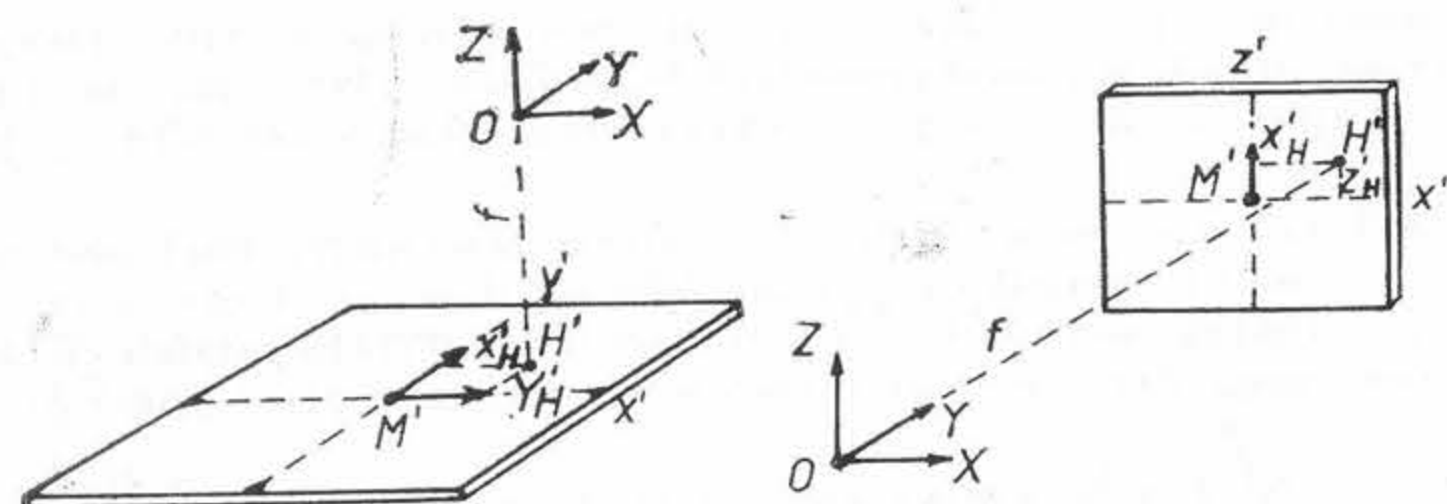


Fig. XV. 85. Sisteme de coordonate.

5.2.4. ELEMENTELE DE ORIENTARE A FOTOGRAMELOR

Elementele de orientare ale fotogramelor stabilesc corespondența biunivocă între punctele spațiului real și imaginile lor pe planul fotogramei. Cu ajutorul lor poate fi reconstituită poziția fotogramei în momentul fotografierii. Aceste elemente se împart în: *elemente de orientare interioară* și *elemente de orientare exterioară*.

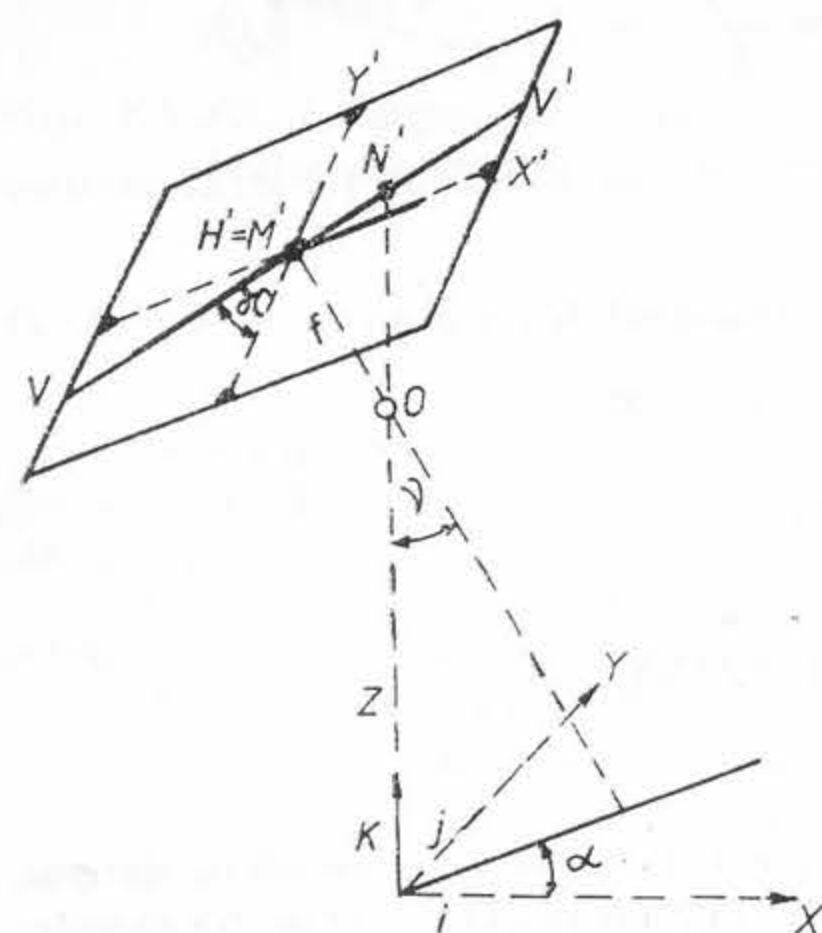


Fig. XV.86. Elemente de orientare exterioară a fotogramelor.

a) Elementele de orientare interioară determină poziția centrului de proiecție (a obiectivului) față de planul fotogramei. Aceste elemente sînt: distanța principală (focală) a obiectivului camerei fotogrammetrice și coordonatele fotogrammetrice ale punctului principal $x'_H, z'_H, (x'_H, y'_H)$ în fotogrammetria aeriană). Ele se determină cu precizie ridicată de către firma constructoare și se imprimă automat în timpul fotografierii pe planul fotogramei (fig. XV.85).

b) Elementele orientării exterioare (fig. XV. 86) determină poziția fascicolului fotogrammetric în spațiu. Acestea sînt coordonatele geodezice ale centrului de proiecție $\bar{X}_0, \bar{Y}_0, \bar{Z}_0$ și trei unghiuri independente ce arată poziția spațială a planului imagine:

α — unghiul de direcție (unghiul dintre direcția axei X și direcția axei de fotografiere);
 v — unghiul de înclinare al fotogramei;

κ — unghiul de rotație al fotogramei (format de direcția axei Y cu verticala principală). Aceste elemente se determină prin metode geodezo-topografice cunoscute sau prin reperajul fotogrammetric.

În fotogrammetria terestră poziția fotogramei fiind bine cunoscută (plan vertical), elementele orientării exterioare se reduc la coordonatele centrului de proiecție, determinarea lor fiind practic mult simplificată.

5.2.5. RELĂȚIILE ANALITICE ALE FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Pentru a stabili analitic corespondența între coordonatele (X_P, Y_P, Z_P) punctului din spațiul real și coordonatele fotogrammetrice ale imaginii sale, vom face apel la elementele de orientare ale fotogramelor.

Vom considera punctele spațiului real ordonate față de sistemul $CXYZ$. Punctele imagine corespunzătoare le ordonăm față de sistemul de axe al fotogramei $x'z'$ (fig. XV.87).

Pentru a putea realiza transformarea coordonatelor dintr-un sistem în celălalt vom considera ambele sisteme cu aceeași origine, aceasta fiind centrul de proiecție O , punct bine determinat. Față de aceste sisteme vom putea defini poziția unui punct p' din planul imagine cu relația:

$$\begin{pmatrix} X'_{p'} \\ Y'_{p'} \\ Z'_{p'} \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ y'_{p'} \\ z'_{p'} \end{pmatrix} \quad (5.3)$$

în care R — reprezintă matricea de rotație a celor două sisteme și care pentru planul vertical al fotogramei (axele corespundente celor două sisteme fiind pe aceeași direcție) este:

$$R = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (5.4)$$

Sistemul X', Y', Z' fiind o translație a sistemului XYZ în punctul $O(X_0, Y_0, Z_0)$, poate fi scris sub forma:

$$X' = X - X_0; \quad Y' = Y - Y_0; \quad Z' = Z - Z_0 \quad (5.5)$$

Dacă se pune și condiția de coliniaritate ce trebuie să existe între punctul real P , centrul de proiecție O și punctul imagine p' :

$$\frac{X_P - X_0}{X'_{p'}} = \frac{Y_P - Y_0}{Y'_{p'}} = \frac{Z_P - Z_0}{Z'_{p'}} = \lambda \quad (5.6)$$

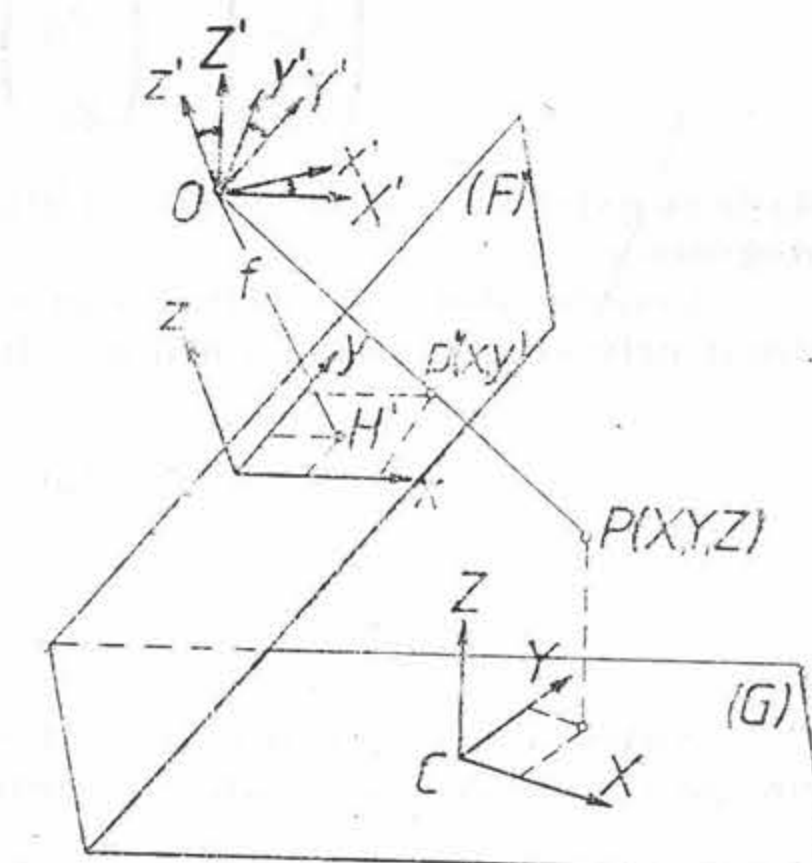


Fig. XV.87. Relații între coordonatele punctelor imagine și coordonatele spațiale.

vom obține relația :

$$\begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_O \\ Y_O \\ Z_O \end{pmatrix} + \lambda \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ f \\ z'_{p'} \end{pmatrix} \quad (5.7)$$

relație ce exprimă complet legătura între punctele spațiului real și imaginile lor din planul fotogrammei.

Coordonatele punctului imagine $p'(x' z')$ se obțin rezolvînd sistemul de ecuații format prin eliminarea factorului λ din relație, astfel :

$$\begin{aligned} x'_{p'} &= f \frac{(X_P - X_O)}{Y_P - Y_O} \\ z'_{p'} &= f \frac{(Z_P - Z_O)}{Y_P - Y_O} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Sistemul are soluții unice și bine determinate. Dacă considerăm că originea sistemului spațial $X Y Z$ se află în centrul de proiecție O (fig. XV.88) atunci vom avea :

$$x'_{p'} = f \frac{X_P}{Y_P} ; \quad z'_{p'} = f \frac{Z_P}{Y_P} \quad (5.9)$$

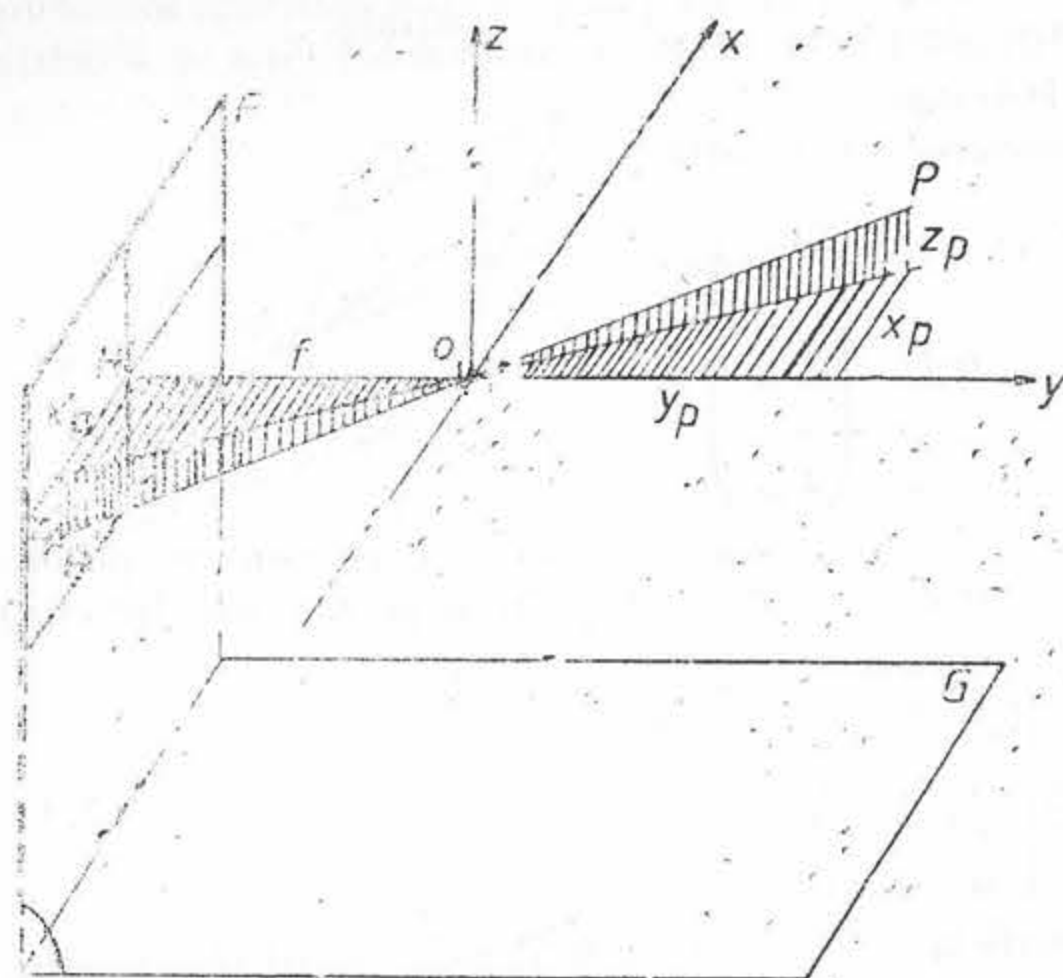


Fig. XV.88. Corespondența între coordonatele imagine și coordonatele spațiale ale punctelor în cazul fotogrammetriei terestre.

sau invers, putem calcula coordonatele spațiale ale unui punct cu ajutorul coordonatelor punctului imagine :

$$X_P = \frac{Y_P}{f} x'_{p'} ; \quad Z_P = \frac{Y_P}{f} z'_{p'} \quad (5.10)$$

Relațiile stabilite mai sus permit ca pornind de la punctele imagine p'_i să se determine poziția punctelor P_i din spațiul real.

5.3. VEDEREA STEREOSCOPICĂ

5.3.1. VEDEREA BINOCULARĂ NATURALĂ

Capacitatea de apreciere a profunzimii (adîncimii reliefului), utilă în măsurătorile fotogrammetrice, se obține numai cu ajutorul vederii binoculare.

Ochiul uman, organul cu care se realizează vederea spațială, poate fi considerat ca un sistem optic, al cărui obiectiv (centru de proiecție) este cristalinul, iar planul focal pe care se formează imaginea virtuală a obiectului privit este partea cea mai sensibilă a retinei — pata galbenă. Cristalinul are capacitatea de a-și modifica curbura cu ajutorul mușchilor ciliari, astfel ca punctele reale situate la diferite distanțe să-și formeze imaginea pe pata galbenă. Această proprietate a ochiului se numește *acomodare*. După cum impulsurile luminoase impresionează celulele retinei, punctele obiectului se pot distinge separat sau confundat. Unghiul minim sub care două puncte se observă în mod separat poartă denumirea de *acuitatea vederii* și are valoarea de 20–30".

Observarea simultană a unui obiect cu ambii ochi în anumite condiții permite realizarea percepției spațiale a acestuia, ca urmare a fenomenului de *fuziune binoculară*. Imaginile obiectului formate pe retinele celor doi ochi, diferite între ele, se transmit prin intermediul nervilor optici scoarței cerebrale care, printr-un proces fiziologic transformă într-un model spațial.

Fie punctele O_s și O_d centrele de proiecție ale celor doi ochi, P și R punctele din spațiu, p' , p'' , r' , și r'' imaginile acestor puncte pe retine (fig. XV.89). Unghiul format de axele orizontale ale ochilor spre punctul din spațiu poartă denumirea de *unghi de convergență*. Mărimea lui depinde de depărtarea Y la care se găsește punctul real și de valoarea bazei oculare b_0 ($b_0 = 55-74$ mm). Variația unghiului de convergență $\Delta\gamma = \gamma_P - \gamma_R$ poartă denumirea de *paralaxă stereoscopică unghiulară*.

Din fig. XV.89 se poate scrie :

$$Y_P = \frac{b_0}{\gamma_P} p'' \quad (5.11)$$

Prin diferențierea relației (5.11) se obține :

$$\Delta Y = - \frac{b_0}{\gamma^2} p'' \Delta \gamma'' \quad (5.12)$$

sau

$$\Delta Y = - \frac{y}{b_0} \frac{\Delta \gamma''}{\rho''} \quad (5.13)$$

Relația (5.13) arată dependența dintre profunzimea ΔY și paralaxa stereoscopică unghiulară $\Delta\gamma$. Diferența dintre imaginile individuale ale ochilor $l_s - l_d = p$ se numește

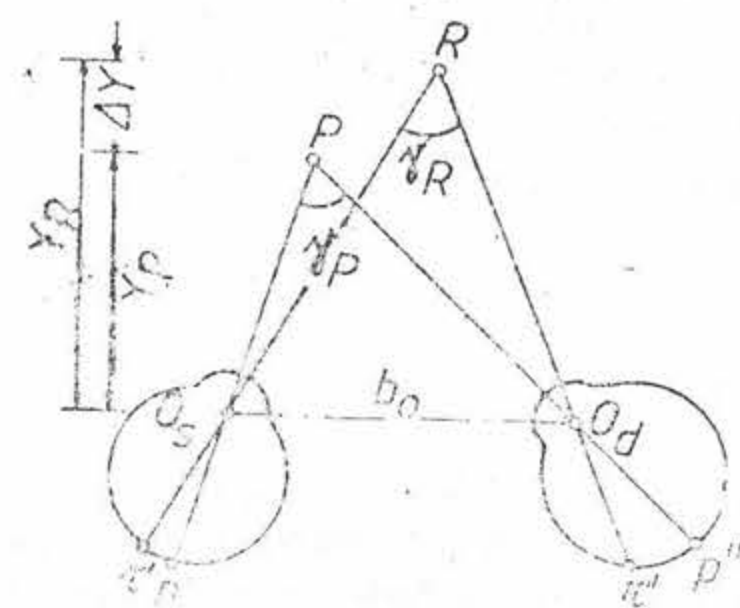


Fig. XV.89. vederea spațială naturală.

paralaxă stereoscopică liniară și este direct proporțională cu paralaxa unghiulară $\Delta\gamma$. Deci :

$$l_s - l_a = p = K \cdot \Delta\gamma \quad (5.14)$$

înlocuind în relația (5.13) se obține :

$$\Delta Y = - \frac{y}{b_0} \cdot p \cdot K' \quad (5.15)$$

Se poate spune că și existența paralaxei stereoscopice liniare creează profunzime între punctele obiectului.

Pentru ca să se producă percepție spațială (efectul stereoscopic) nu trebuie depășite valorile limită ale paralaxei stereoscopice ($\Delta\gamma_{max} \approx 1'$ și $\Delta\gamma_{min} \approx 20''$). Pentru o valoare limitei acuității stereoscopice se obține conform relației (5.11) distanța Y pînă la care se poate realiza percepția stereoscopică.

$$\text{Astfel pentru } \Delta\gamma'' = 20'', Y = \frac{b_0}{\Delta\gamma''} \rho'' = \frac{65}{20''} 206265 \approx 670 \text{ m}$$

dacă se consideră că $b_0 = 74 \text{ mm}$, depărtarea Y poate fi de $\approx 800 \text{ mm}$.

În funcție de limitele între care variază acuitatea și baza interpupilară, distanța percepției stereoscopice directe este cuprinsă între 500 și 800 m. Pe lângă parametri menționați, vederea spațială directă este influențată de o serie de factori fiziologici (defecte ale vederii) și fizici, cum ar fi intensitatea luminii și contrastul între obiecte etc.

5.3.2. VEDEREA STEREOSCOPICĂ ARTIFICIALĂ

Condițiile vederii stereoscopice. Vederea spațială a unui obiect se poate obține și pe cale indirectă, fiind observate în condiții impuse două imagini perspective F_1 și F_2 ale obiectului, realizate din două centre de proiecție diferite (fig. XV.90). O astfel de vedere

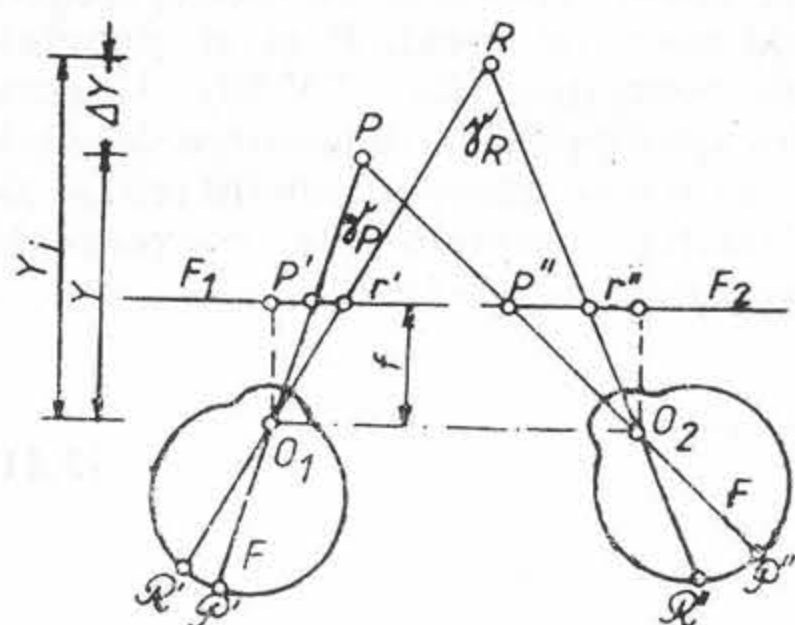


Fig. XV.90. Vederea stereoscopică artificială.

se numește *vedere stereoscopică artificială*, iar cele două imagini fotografice ce realizează efectul stereoscopic formează un *cuplu stereoscopic*. Pentru ca percepția stereoscopică să se realizeze trebuie ca imaginile perspective să îndeplinească următoarele condiții :

— imaginile trebuie să se deosebească prin paralaxa stereoscopică liniară p , ca atare se realizează din puncte diferite, distanța dintre aceste puncte denumindu-se *bază de fotografieri* b ;

— observarea fotogramelor să se facă concomitent, fiecărui ochi să-i corespundă o imagine impusă. Pentru a obține efectul stereoscopic direct (ortoscopic), ochiul stîng va observa fotograma din punctul stîng al bazei, iar ochiul drept din punctul drept. Dacă imaginile

se vor inversa se va obține o imagine stereoscopică inversă, un efect pseudoscopic ;

— razele vizuale ale ochilor pornite de la punctele imagine trebuie să se intersecteze în spațiu sub unghiul de convergență cerut de vederea spațială directă.

Pentru ca imaginea stereoscopică să reprezinte fidel obiectul real trebuie ca :

— baza de preluare b să fie egală cu baza de observare b_0 ;

— distanța de observare f să fie aceeași cu distanța focală a aparatului de preluare.

În cazul vederii stereoscopice artificiale, baza de preluare este mărită cu un număr n ori față de cea de observație (sute sau chiar mii de ori). În acest caz observarea cu o bază b_0 a imaginilor F_1 și F_2 preluate în o bază b realizează un model stereoscopic micșorat apropiat de bază de același număr de ori (fig. XV.91). Aproximarea modelului de observator mărește și acuitatea stereoscopică de același număr de ori (fig. XV.91, a).

Modificarea distanței de observare de v ori față de distanța principală de la preluarea fotogramelor are efect, de asemenea, asupra modelului stereoscopic format. Vederea stereoscopică formată prin intermediul imaginilor respective va apare mai apropiată

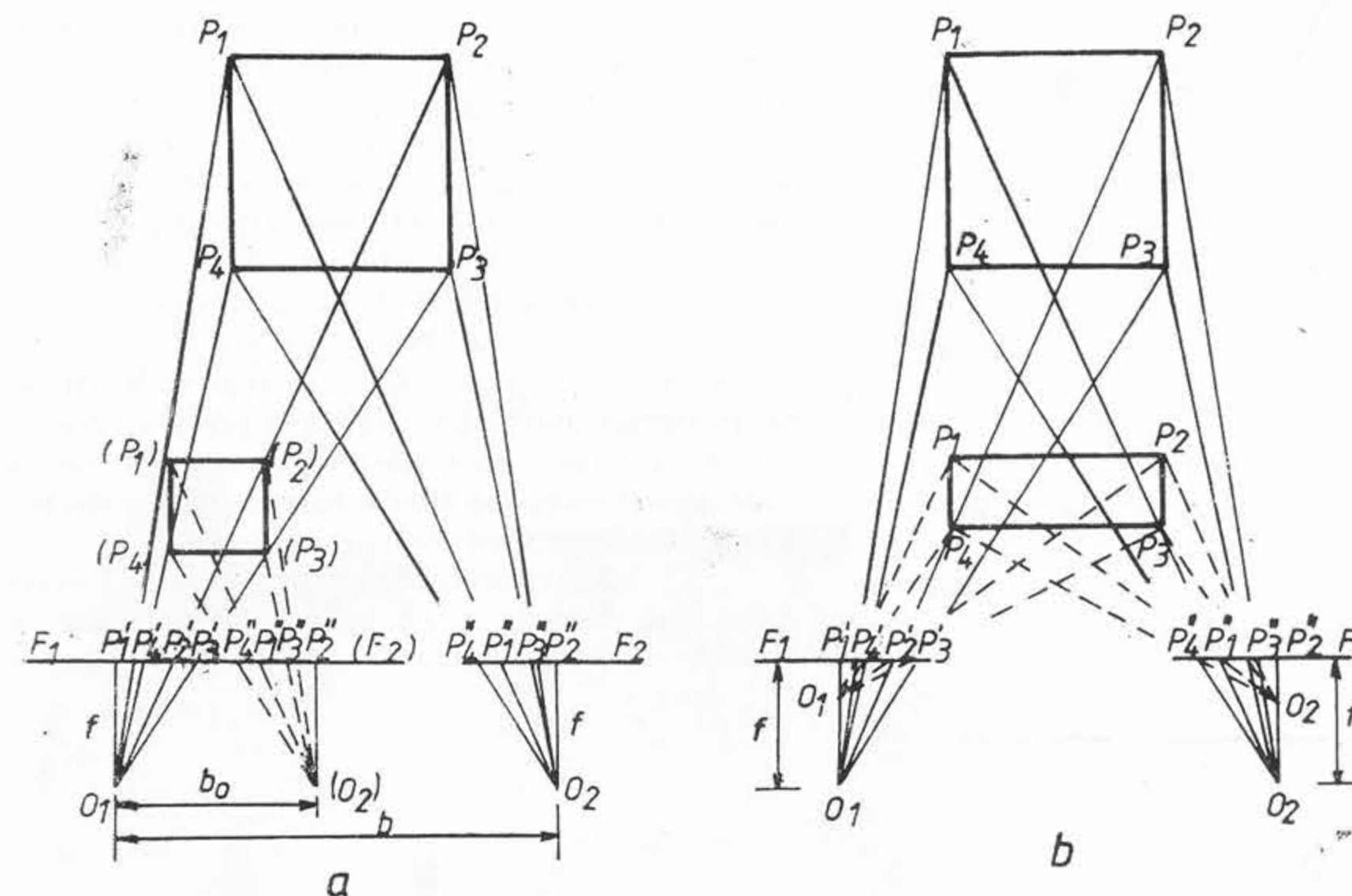


Fig. XV.91. Model stereoscopic :

a — omotetic deformat ; b — deformat prin modificarea distanței de observare.

de bază, dar și deformată în profunzime cu același număr v (fig. XV. 91,b). Rămân neschimbate numai direcțiile paralele cu baza de preluare. Prin deformarea profunzimii acuitatea percepției spațiale scade, însă va crește de v ori datorită apropierii modelului. Prin aplicarea concomitent a ambelor posibilități se obține o mărime de $n \cdot v$ a acuității percepției în profunzime a modelului.

Aceste căi de îmbunătățire a percepției în profunzime sînt utilizate la aparatura de observare stereoscopică.

Observarea stereoscopică. Observarea modelului spațial indirect se realizează cu ajutorul unor instrumente numite *stereoscoape*. Din punct de vedere constructiv ele pot fi cu lentile, cu prisme sau cu oglinzi. Prin combinarea tipurilor de bază se obțin diferite tipuri de stereoscoape. Caracteristica tuturor stereoscoapelor constă în sistemul optic astfel realizat încît să permită realizarea condițiilor vederii stereoscopice și anume, separarea imaginilor oferite ochilor observatorului și orientarea reciprocă a imaginilor.

Pentru a obține modelul stereoscopic, cuplul stereoscopic trebuie orientat față de baza de observație. În cazul fotogramelor terestre, orientarea rezultă prin poziționarea paralelă a axelor $x - x'$ a fotogramelor față de baza de observație. În fig. XV.92 este prezentat stereoscopul cu oglinzi.

Măsurarea stereoscopică. Modelul stereoscopic obținut prin observarea stereoscopică a stereogramei permite efectuarea de măsurători în scopul determinării formei, mărimii și poziției obiectului. Măsurarea stereoscopică are la bază *principiul mărcii mobile a lui Stoltz* (1892), preluat și îmbunătățit de P u l p h r i c h și aplicat la construcția aparatelor de restituție.

În fotogrammetrie marca mobilă este denumită marca spațială percepută de observarea stereoscopică a două mărci parțiale. Mărcile parțiale m_1 și m_2 se plasează în așa fel încât să indice riguros poziția punctelor omoloage p' , p'' , pe stereogramă. În această situație, în câmpul modelului va apărea marca spațială

(M) în coincidență cu punctul P al modelului spațial (fig. XV. 93). Nesuprapunerea perfectă a uneia sau a ambelor mărci m_1 și m_2 pe punctele imagine face ca marca spațială să părăsească modelul, aflându-se fie deasupra lui, fie în profunzime, producând greșeli în măsurare.

Mărcile parțiale de măsurare pot avea diferite forme (puncte, cercuri, cruce), pot fi negre sau luminoase. Ele echipează orice aparat de restituție stereofotogrammetrică și pot fi realizate virtual prin intersecția traseelor optice corespunzătoare celor două mărci portabile sau într-o formă reală prin materializarea ei în câmpul stereomodelului.

Legătura mărcilor parțiale cu un dispozitiv de citire sau de desenare corespunzător definește coordonatele modelului prin intermediul coordonatelor

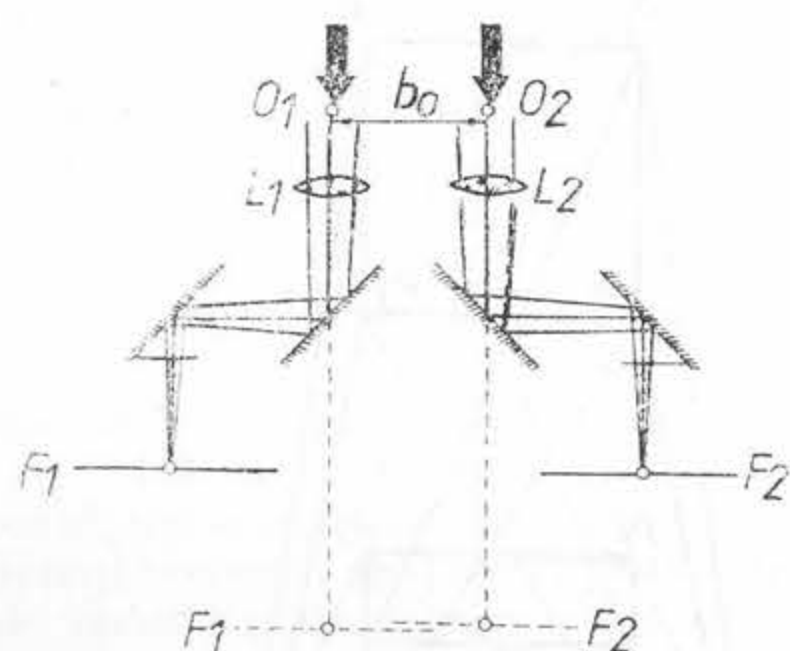


Fig. XV.92. Stereoscopul cu oglinzi.

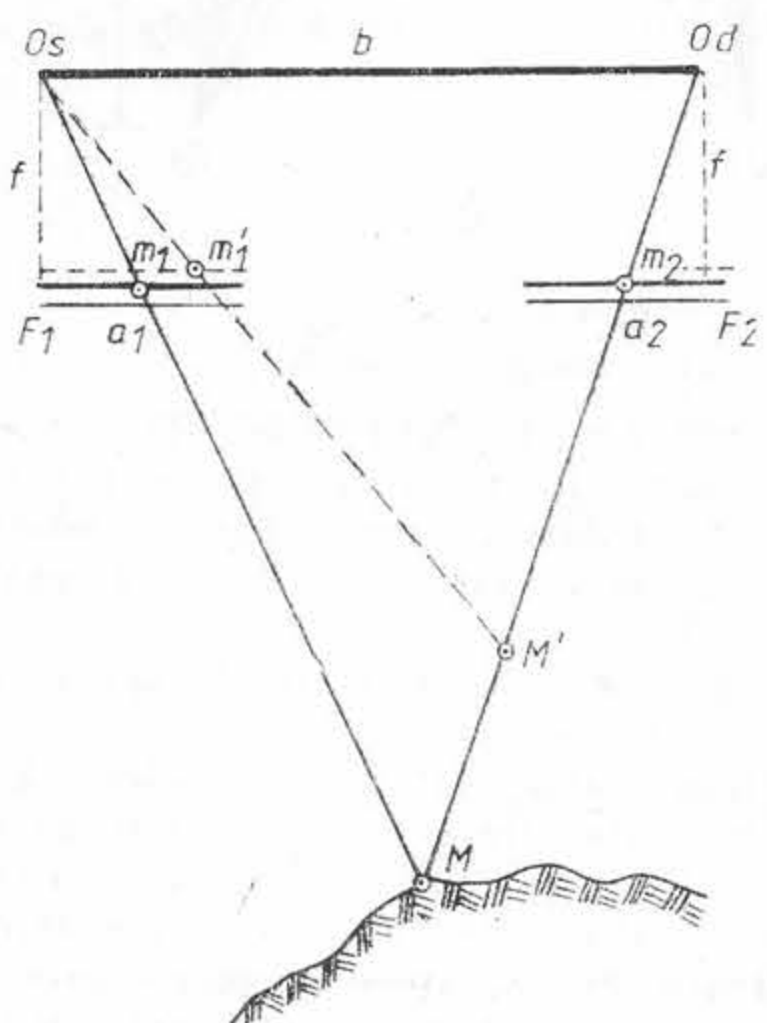
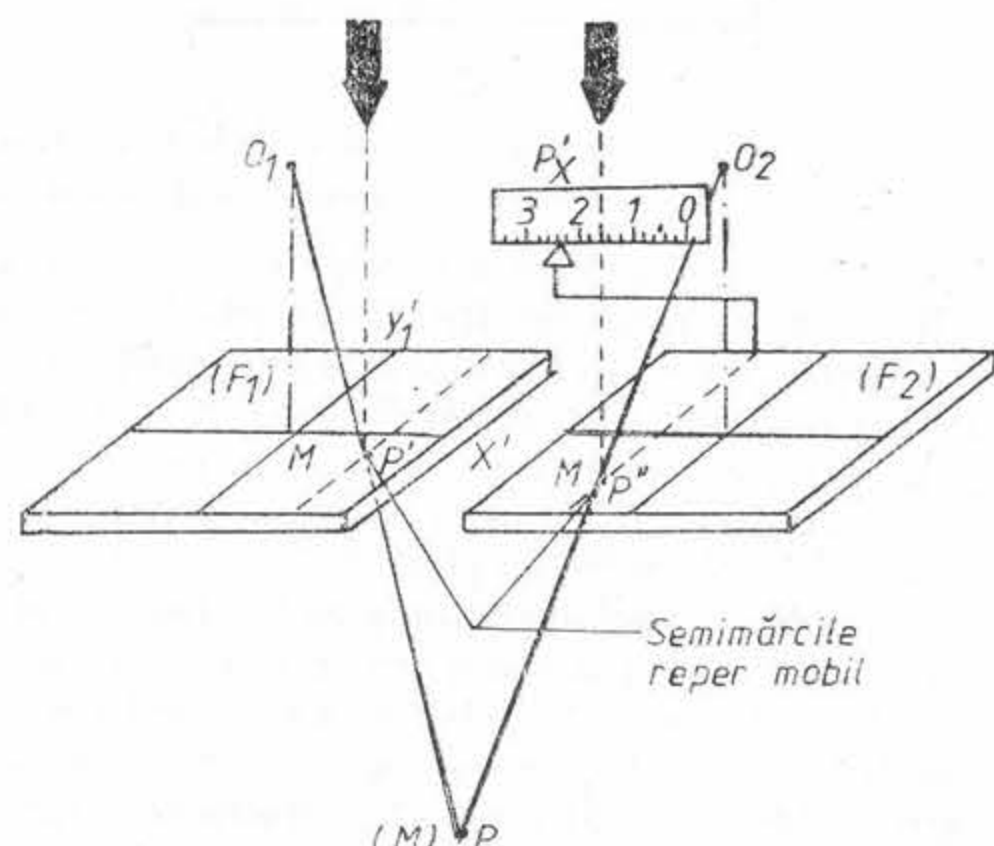


Fig. XV.93. Principiul măsurării stereoscopice.

fotogrammetrice $x'z'$ sau a paralaxelor p_x și p_z . Astfel că, prin deplasarea mărcii spațiale pe modelul optic, este posibilă restituția continuă a modelului prin izolinii sau curbe de nivel. Acest lucru reprezintă un avantaj incontestabil al măsurării fotogrammetrice.



Semimărcile
reper mobil

5.4. APARATURA DE FOTOGRAFIERE

Pentru obținerea fotogramelor terestre se folosesc camere de fotografiat speciale ale căror elemente de orientare interioară sînt cunoscute sau posibil a fi cunoscute. În general, o cameră metrică se compune dintr-un corp al camerei, obiectivul fotografic și un plan riguros dispus pe cadrul camerei — planul focal.

Acest plan focal, perpendicular pe axa de fotografiere, se află față de pe punctul nodal al obiectivului, la o distanță f egală cu distanța focală a acestuia. Pe cadrul camerei de fotografiat sînt dispuși patru indici de referință la intersecția axelor ce îi unesc, definindu-se poziția punctului principal H' . Prin fotografierea acestor indici se formează imaginea lor pe fotogramă. Un rol important în realizarea imaginii fotografice îl are *obiectivul fotogrammetric*. Pentru ca acesta să dea o imagine riguroasă a obiectului fotografiat, trebuie să aibă următoarele calități: claritate mare, să fie lipsit de aberația de distorsie, putere de rezolvare mare, curbura de câmp mică, câmp angular potrivit (se folosesc obiective cu unghiul de câmp de $60^\circ - 120^\circ$).

Pe lângă aceste părți componente principale, camerele de fotografiere terestre trebuie să mai fie prevăzute cu:

- dispozitiv de orientare (pentru determinarea direcției de fotografiere);
- șuruburi de calare pentru verticalizarea planului imagine;

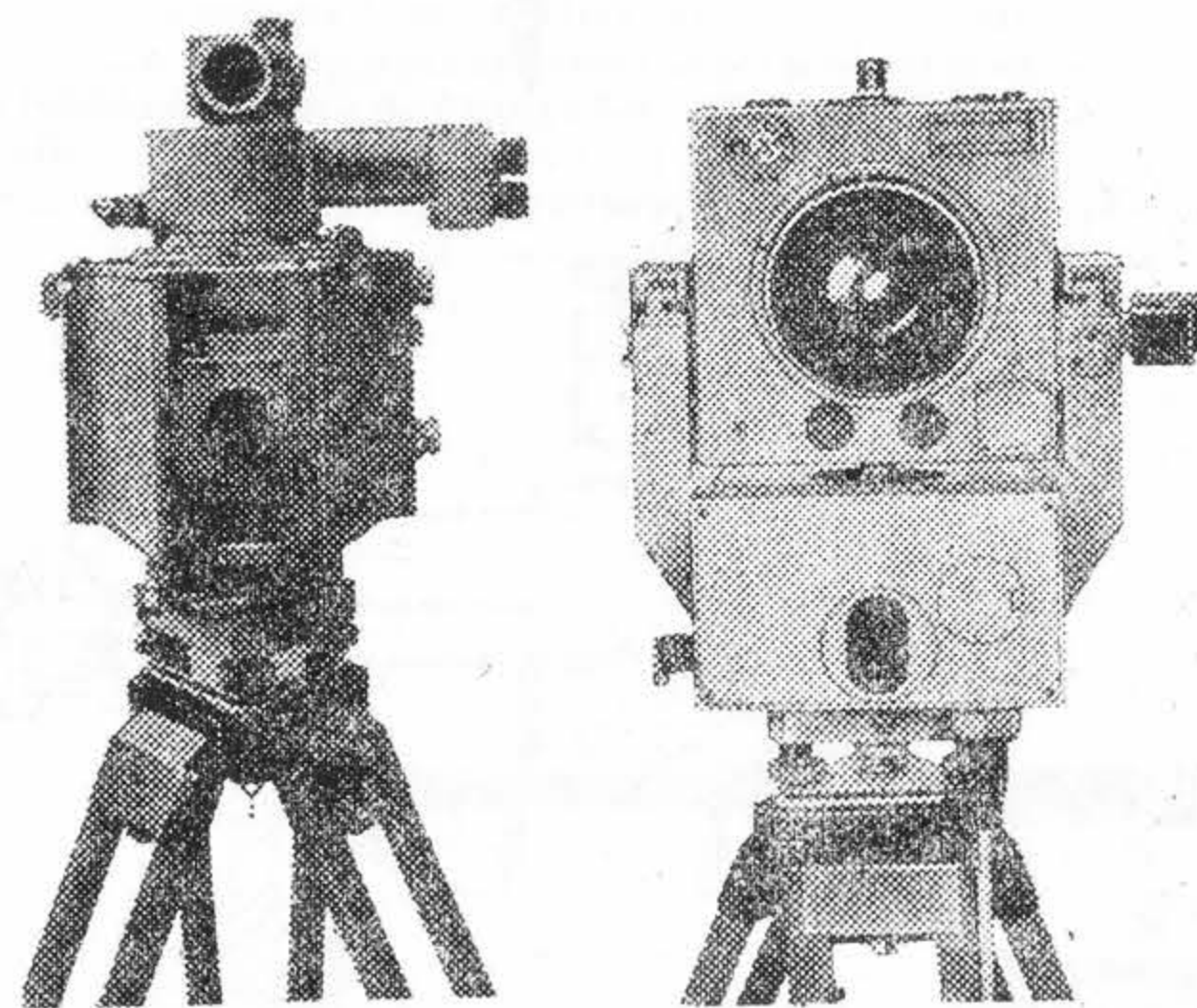


Fig. XV.94. Camere fotogrammetrice.

- nivele pentru orizontalizarea axei de fotografiere și a axei de vizare a lunetei;
- alte dispozitive anexe (pentru determinarea câmpului de fotografiere și înscrierea datelor necesare restituției).

Camerele metriche de preluare folosite în fotogrammetria terestră se împart în două categorii:

- camere fotogrammetrice individuale (de tipul fototeodolitelor, fig. XV.94);
- camere fotogrammetrice duble sau camere stereometrice (fig. XV.95).

Fototeodolitul (fig. XV.96) este construit dintr-o cameră metrică de fotografiere 1 și un dispozitiv de orientare 2 cu axa verticală comună. Dispozitivul de orientare, legat

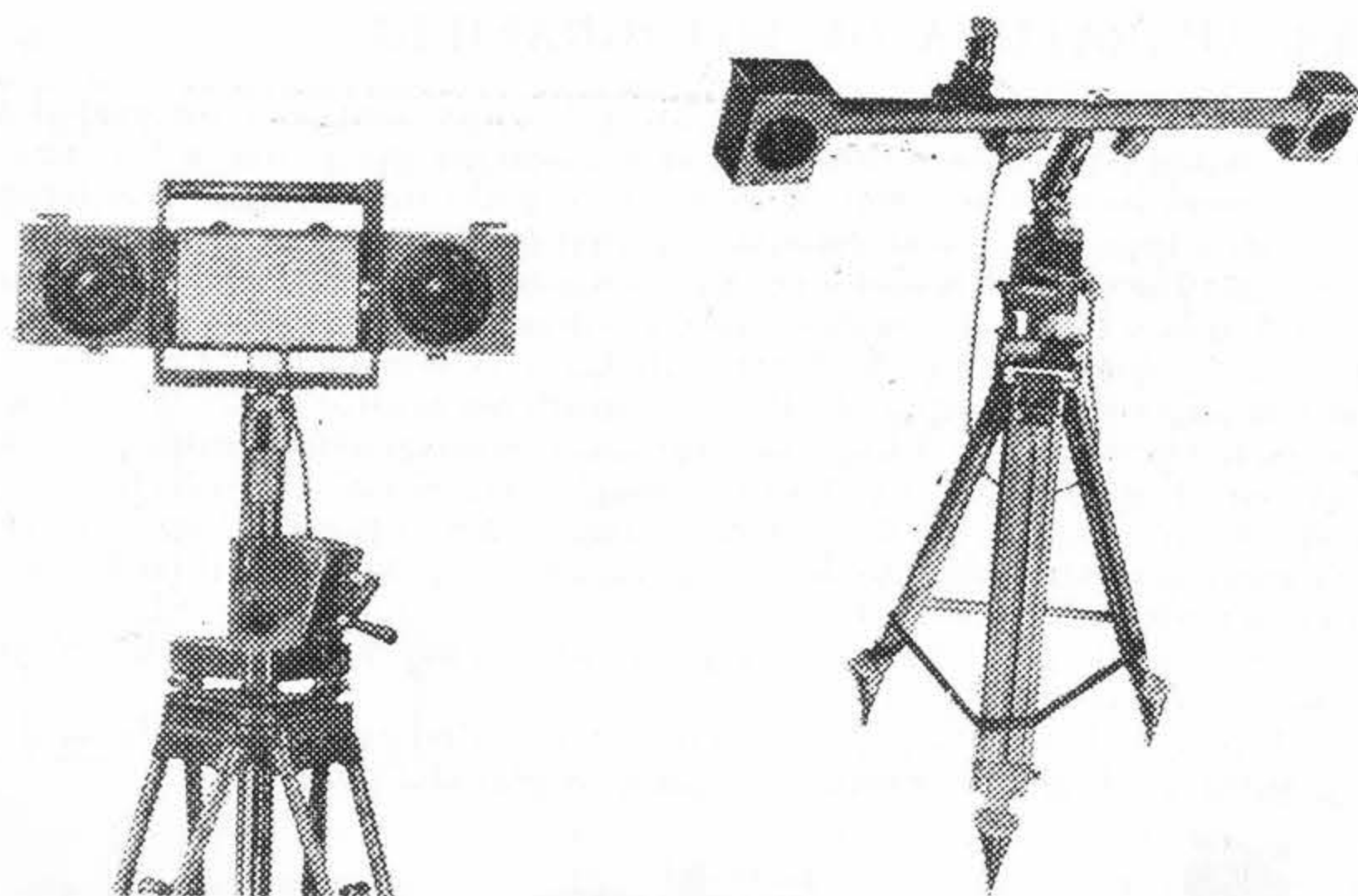


Fig. XV. 95. Camere stereometrice.

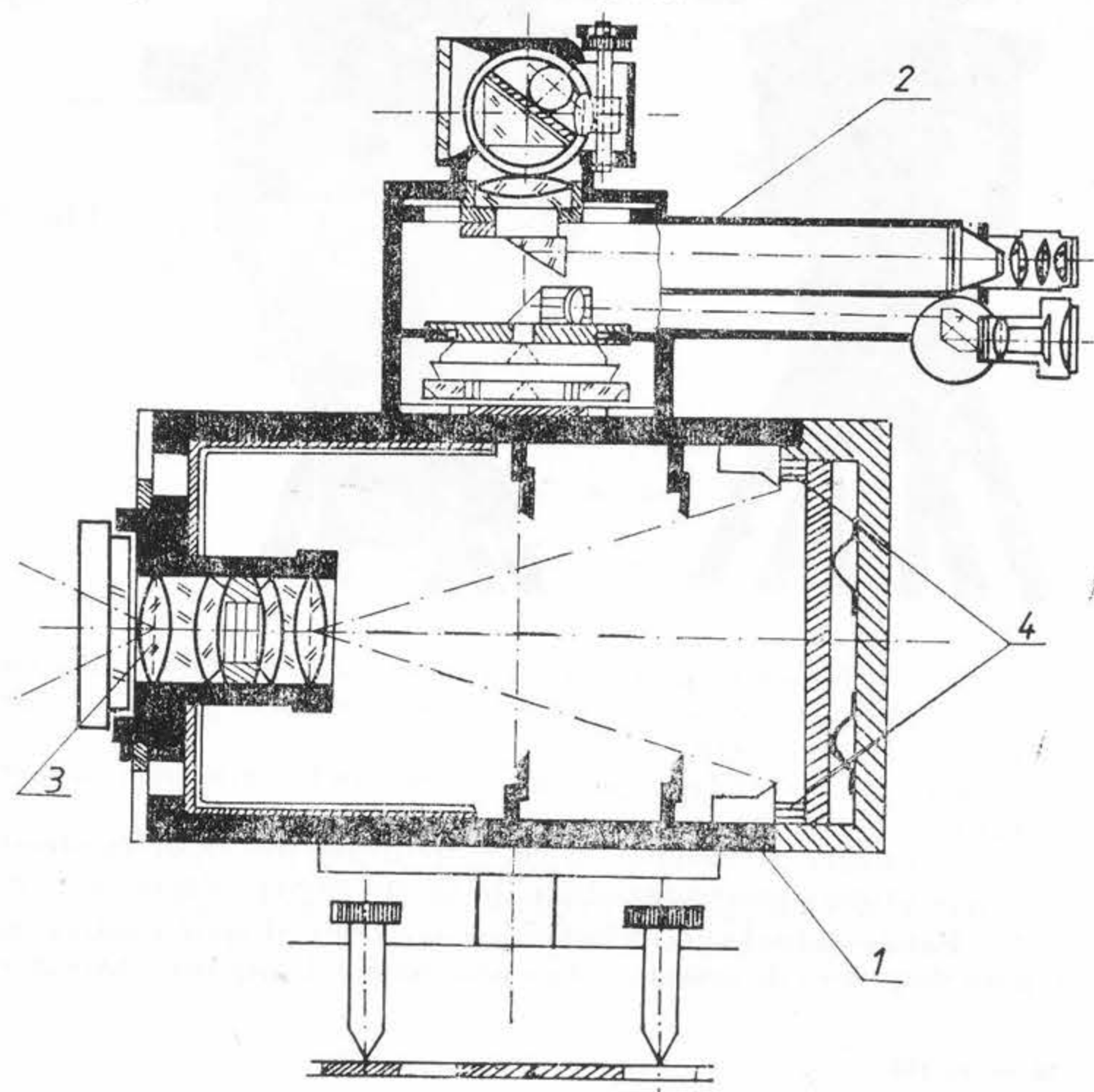


Fig. XV.96. Foto-teodolitul.

rigid de cameră sau detașabil, îndeplinește funcția de teodolit și este necesar determinării elementelor de orientare exterioară. De regulă, fototeodolitele sînt construite cu axa de fotografiere orizontală, iar pentru creșterea cîmpului de fotografiere pe verticală, obiectivul aparatului (3) are posibilitatea de a culisa riguros în plan vertical în sus și jos, deplasare ce trebuie să fie în strînsă legătură cu indicii de referință (4) de pe cadrul camerei. Există și fototeodolite cu camera fotogrammetrică mobilă, care au posibilitatea ca axa de fotografiere să facă diferite unghiuri de înclinare (oarecare sau determinate).

În funcție de domeniul de utilizare, fototeodolitele se pot împărți în :

— fototeodolite cu profunzime de cîmp între 20 m și cu deschiderea diafragmei constantă ;

— fototeodolite cu profunzime de cîmp redusă și cu difragma reglabilă.

Fototeodolitele din prima categorie servesc pentru măsurători în scopuri topografice, atunci cînd obiectele se află la distanță mare față de aparatul de fotografiat, iar cele din a doua categorie servesc pentru realizarea fotogramelor în scopuri speciale (studiul deformațiilor etc.). Caracteristicile și parametrii tehnici sînt date în tabelul XV.10.

Camere stereometrice. Sînt formate din două camere fotogrammetrice identice montate pe o bară de lungime fixă sau variabilă (v. fig. XV. 95). Axele de fotografiere a celor două camere trebuie să fie riguros paralele între ele și perpendiculare pe bază ; ele pot fi orizontale sau pot face un unghi de înclinare cu orizontala.

Acționarea camerei stereometrice în vederea realizării fotogramelor este centralizată. La unele aparate sistemul bazei și al celor două camere poate fi ridicat sau coborît la înălțimea dorită de fotografiere. Camerele stereofotogrammetrice se utilizează în fotografierea obiectelor la distanță mică (1,5—10 m), în spațiu restrîns, unde este dificilă amplasarea și realizarea unei baze fotogrammetrice prin fotografiere cu camere izolate.

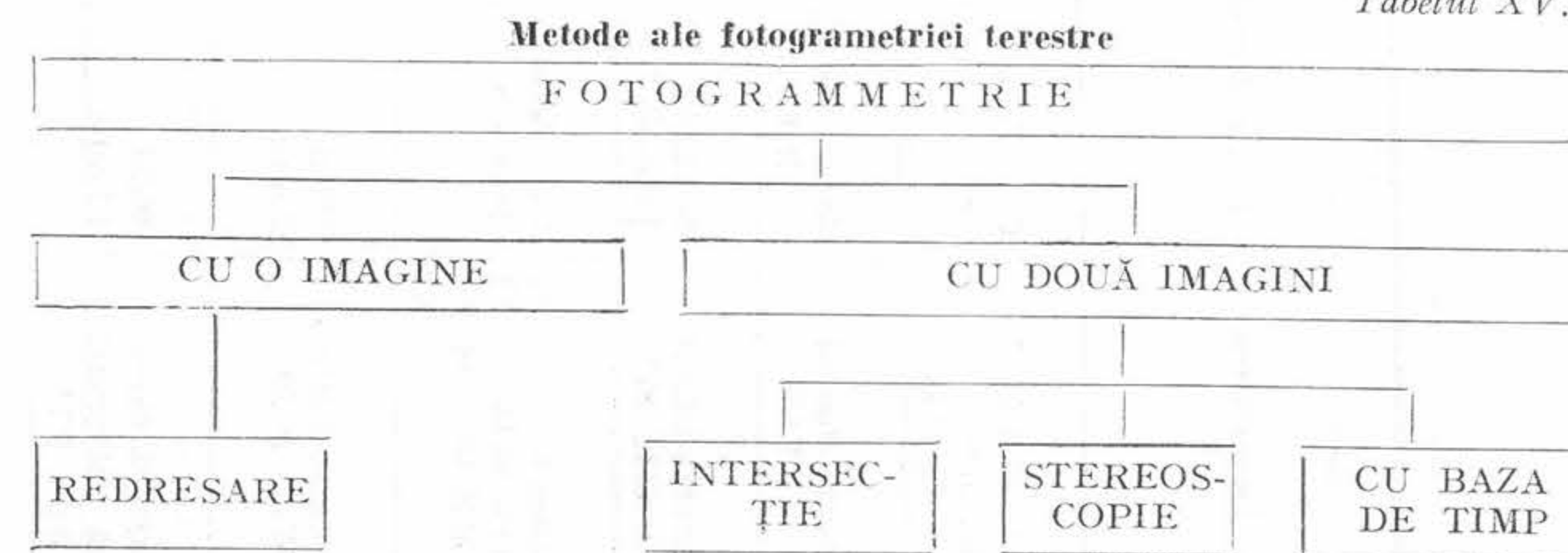
Prin simplitatea construcției lor, a modului de executare a fotogramelor, precum și prin faptul că în restituția fotogramelor realizate se utilizează relații simple, utilizarea lor este avantajoasă în multe domenii de activitate. În tabelul XV.11 (v. p. 566) sînt date caracteristicile și parametrii tehnici ai camerelor stereofotogrammetrice.

5.5. METODELE FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Fotogrammetria terestră se ocupă cu metodele, procedeele, prin care se determină forma, poziția și dimensiunile obiectelor din spațiu pe baza măsurătorilor efectuate pe imaginile fotografice obținute din puncte fixe de pe suprafața terestră.

Practic reconstituirea spațială se realizează printr-un ansamblu de operații de fotografiere, măsurare și reprezentare a rezultatelor, fie sub formă numerică, fie sub formă

Tabelul XV.9



Caracteristici tehnice ale fototeodolitelor

Denumirea	Producătorul	Formatul fotogra- melor [cm × cm]	Distanța focală [mm]	Deschide- rea dia- fragmei obecti- vului	Unghi de cîmp pe orizon- tală/pe verticală	Axa de fotogra- fiere	Interval de foto- grafiere [m]	Suportul foto placă/film
Fototeodolitul Phototheo 19/1318	Carl Zeiss Jena — R.D.G.	13 × 18	190	1:25 constant	52° 38°	0	25 — ∞	p
Fototeodolitul TAF	Aerotopograf R.F.G.	13 × 18	160	1:25 constant	0	0	2 — ∞	p
Fototeodolitul MK 165	Sokkisha Japonia	12 × 16,5	165			0		p
Camăra universală UMK 10/1318 ND NF	Carl Zeiss Jena — R.D.G.	13 × 18	100	1:8 variabil 8...3	88 68°	0, v și i (+90 la -30° din 15° în 15°)	25 — ∞ 2, 1 — ∞	p p/f p p/f
Fototeodolitul Wild P 30	Wild Elveția	10 × 15	165	1:12 constant	60°	0, i (+7° — 28° din 7° în 7°)	30 — ∞	p
Camăra teres- tră universală Wild P31	Wild Elveția	9 × 12	100	1:5,6 variabil 5, 6 — 22	67,5°	0, v, i (±7°; ±14°; ±25°; ±30°; +100° aditionale)	25 — ∞ (cu lentile aditionale)	p/f

Camăra terestră Wild P 32	Wild Elveția	6,5 × 9	64	1:8 8...2	—	0, i (0 — 40°)	3,3 — ∞	p/f
Camăra terestră TMK-6	Zeiss Oberko- chen R.F.G.	9 × 12	60	1:11 constant	72°	0, v, i (+30°; ±70°; +100°)	2,5 — ∞	f/p
Camăra terestră TMK-12	Zeiss Oberko- chen R.F.G.	9 × 12	120	1:8 8...16	72°	0, v, i (+30°; ±70°; +100°)	20 — ∞	f/p
Fototeodolit FTG-1	Galileo Italia	10 × 15	155	—	—	0, i (0 — 40°)	1 — ∞	p/f
Verostat	Galileo Italia	9 × 12	100	—	—	0, v, i (0 — 100°)	2 — ∞	p
Veroplast	Galileo Italia	3 × 18	150	1:6,3 6,3...25	—	0, v, i (0 — 100°)	2 — ∞	p

Caracteristici tehnice ale camerelor stereometrice

Denumirea	Producătorul	Distanța focală [mm]	Unghi de câmp pe orizontală și verticală [grade]	Mărimința bazei [cm]	Înălțimea de instalare [m]	Formatul fotograficlor [cm × cm]	Intervalul de fotografare [m]	Axa de fotografiere	Suportul emulsiei		Particularități
									plăci	film	
SMK 5,5/0808/40	Karl Zeiss R.D.G.	56		40	1,5—2,7	9 × 12	1,5—10	0, v, i, în trepte din 15° în 15°	da	—	— Baza poate fi orizontală și verticală, se poate introduce la fiecare cameră o convergență de 0° la 12°.
SMK 5,5/0808/120				120			5—30				
Stereocamera UMK 10/1318		100		35—160	0,6—2,1	13 × 18	1—10	0, i (0° la 50°)	da	da	— Baza poate fi orizontală și verticală.
Stereocamera Wild C-4	Wild Elveția	6,4	71°	40	1,5—2,5	6,5 × 9	1—10	0, v, i (±10°, 30°, 60°, 80°, 90°)	da	—	— Baza poate fi așezată și vertical.
Wild C-40			35,6°	120							
Wild C-120							5—30	0, v, i (—25°; —15°; 0; +15°)			

Stereocamera SMK-40	Zeiss Oberkochen R.F.G.	60		40	1,3—2,5	9 × 12	2,5—10	0, v, i	da	—	— Cu lentile suplimentare se poate prelua și în intervalul 0,5—2,5 m
Stereocamera SMK-120				120			5—50				
Verosta		100		120—55	1,3—2,6	9 × 12	2—∞	0, i (0°—28°)	da	—	— Se poate introduce o convergență de până la 15°
Veroplast	Galileo Italia	150		200—300		13 × 18	1,6—∞	0, v, i	da	—	
Tecnoster A		75		16,5—70		6,5 × 9	0,6—∞	0, i (±20°)			
Tecnoster B		150		100—200	0,5—2,6	9,5 × 23,5	∞	0, i (±5,5 la 50°)			
DMK 100/1318	Ascania Elveția	100		30—70		23,5 × 23,5	1,6—2,6				
Stereo ST 40				30—85	1—1,5	13 × 18	1—∞	0, i, v	da	—	— Punctul principal poate fi deplasat
Stereo ST 120		65		40		6,5 × 9	2,5—10	v	da	—	
ST-120	Nikon	60		120	1,5—2,5	6,5 × 9	5—10	0, v, i (3,33° și 6,66°)	da	—	
SKB 40				45		9 × 12	<9	0			
SKB 120 B-54				25; 35			<5				
V-3	Sokkisha Japonia	121		50	1,3—1,8	12 × 16,5	1—∞	0, i (±36°)			
KSK-100		90		30; 50; 100			0,5—∞	0, i (±15°)			

analogică, prin izolinii sau curbe de nivel. Se deosebesc mai multe metode de exploatare a fotogramelor în vederea reconstituirii formei obiectelor reale (tabelul XV.9), folosirea uneia sau alteia din metode fiind în funcție de poziția obiectului în spațiu, de depărtarea lui și de elementele necesare în determinare. În general, în fotogrammetria terestră axele de fotografiere se consideră orizontale, perpendiculare pe planul imaginii și numai în cazuri speciale sînt înclinate cu un unghi ω cunoscut față de orizontală. Această condiție simplifică mult operațiile de reconstituire spațială. Redarea formei și poziției obiectelor în spațiul real impune cunoașterea elementelor de orientare a fotogramelor (v. 5.2.4.) elemente care în cazul fotogrammetriei terestre pot fi determinate prin metode geodezo-topografice.

5.5.1. FOTOGRAMMETRIA CU O IMAGINE

Fotogrammetria cu o imagine se caracterizează prin aceea că prin exploatarea fotogramei se obține numai poziția în plan XZ a obiectului real. Metoda este avantajoasă pentru determinarea obiectelor dispuse mai mult în plan vertical cu suprafețe netede. În topografie se folosește pentru realizarea releveelor, pentru urmărirea comportării construcțiilor industriale și civile, iar în activitatea subterană pentru determinarea secțiunilor transversale a lucrărilor miniere sau a urmăririi deformării lucrărilor miniere sub influența presiunilor.

Preluarea imaginilor singulare se realizează cu fototeodolite din puncte de stație stabile, a căror poziție în spațiu este cunoscută. Fotografierea se face de la distanța convenabilă, care să asigure înregistrarea pe fotogramă a întregii suprafețe a obiectului fotografiat (clădiri, secțiuni ale lucrărilor miniere etc.). Distanța de fotografiere se stabilește cu relațiile (fig. XV.97):

$$Y = \frac{X}{x'} f; \quad Y = \frac{Z}{z'} f \quad (5.16)$$

în care: X, Z sînt dimensiunile obiectului fotografiat; x', z' — dimensiunile utile ale fotogramei; f — distanța focală a obiectului.

Atît în vederea reprezentării la scară, cît și pentru determinarea poziției obiectelor este necesară existența unui număr de repere pe obiect, care să se înregistreze și pe fotogramă.

Punctele de reper pot fi materializate prin două mire perpendiculare între ele, una dispusă în plan orizontal și cealaltă în plan vertical, încît să se poată controla scara reprezentării pe cele două direcții. Fotografierea se poate efectua cu axa de fotografiere orizontală și perpendiculară pe planul obiectului sau cu axa de fotografiere deviată față de normală (fig. XV.98).

Disponerea axei de fotografiere perpendiculară pe obiect se realizează cu ajutorul echerelor, care asigură o precizie de $\pm 5''$ pentru distanța de 15—20 m. Prelucrarea foto-

gramelor se poate realiza pe cale numerică sau grafică, cu ajutorul unui aparat de proiecție. Oricare ar fi metoda de prelucrare, trebuie stabilită scara de reprezentare. În cazul fotogramelor preluate cu axa de fotografiere orizontală și perpendiculară pe obiect, scara este dată de:

$$m_l = \frac{Y}{f} = \frac{S_h}{s'_h} = \frac{S_v}{s'_v} \quad (5.17)$$

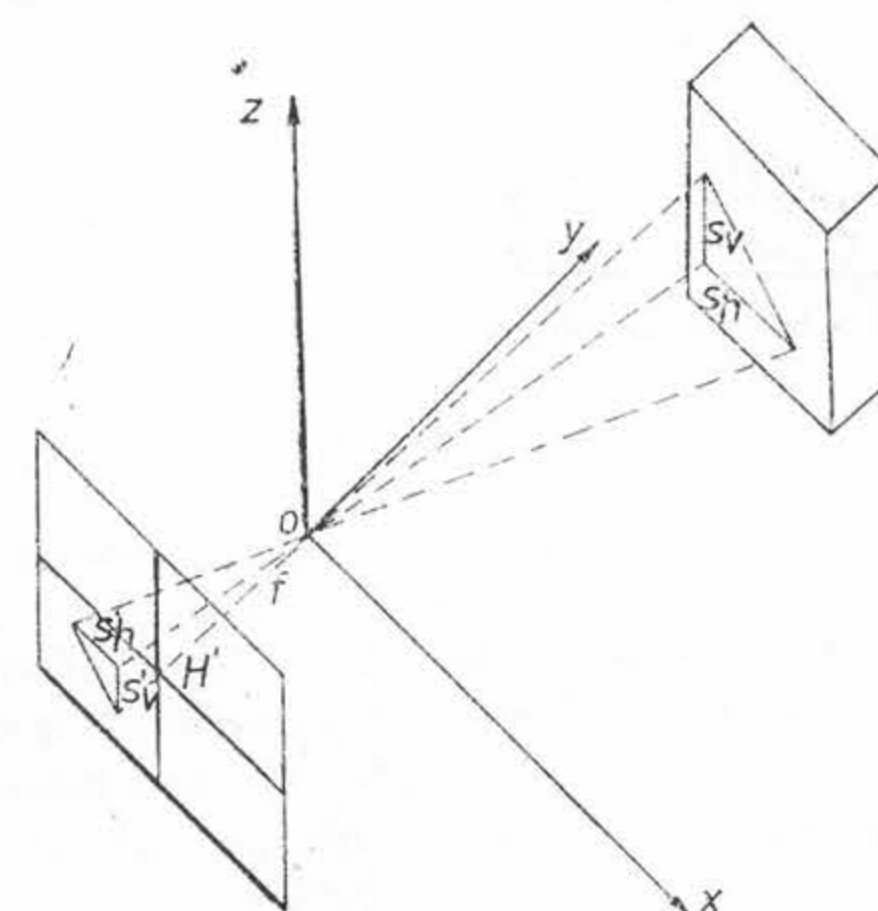


Fig. XV.97. Fotografierea imaginilor cu axa perpendiculară pe planul obiectului.

unde: Y este distanța între punctul de stație și planul fotografiat; f — distanța focală a aparatului de fotografiat; S_h, S_v sînt mirele reper dispuse în plan orizontal și vertical; s'_h, s'_v — imaginile mirelor semnal.

Numeric, fotogramele se prelucurează cu ajutorul relațiilor:

$$X_i = m_l \cdot x'; \quad Z_i = m_l \cdot z' \quad (5.18)$$

în care: X_i, Z_i sînt coordonatele spațiale ale punctelor obiect; x', z' — coordonatele fotogrammetrice;

și se măsoară pe fotogramă cu ajutorul unui comparator.

În cazul în care fotografierea s-a efectuat cu axa deviată cu unghiul φ față de normală, coordonatele X_i, Z_i ale punctelor reale se calculează cu relațiile (fig. XV.98): — pentru X :

$$\frac{x'}{f} = \frac{(x)}{Y + \Delta Y} = \frac{X \cos \varphi}{Y + X \sin \varphi} \quad (5.19)$$

de unde:

$$X = \frac{Y \cdot x'}{f \cos \varphi - x' \sin \varphi} \quad (5.20)$$

sau:

$$m_{lx} = \frac{Y}{f \cos \varphi - x' \sin \varphi} \quad (5.21)$$

— determinarea scării pentru Z :

Pentru dreptele ce trec prin punctul H , scara va fi dată de raportul:

$$m_{lz} = \frac{Y}{f} \cos^2 \varphi \quad (\text{fig. XV.99}) \quad (5.22)$$

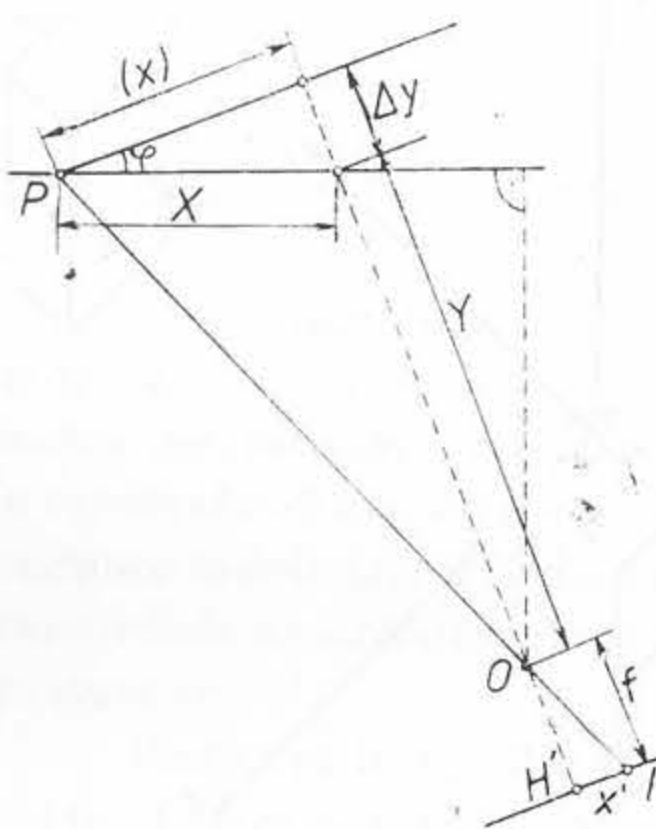


Fig. XV.98. Fotografiera imaginilor cu axa de fotografiere deviată cu unghiul φ .

Pentru dreptele verticale ce trec printr-un punct oarecare P , scara pentru Z va fi dată de relația (fig. XV.99):

$$m_{lzP} = \frac{e}{e'} \quad (5.23)$$

unde:

$$e = \frac{Y \cos \varphi}{\cos(\alpha - \varphi)}; \quad e' = \frac{f}{\cos \alpha} \quad (5.24)$$

atunci:

$$m_{bzP} = \frac{Y \cos \varphi \cdot \cos \alpha}{f \cos(\alpha - \varphi)} = \frac{Y}{f} (1 + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \quad (5.25)$$

dar

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{f}{x'_{P'}}$$

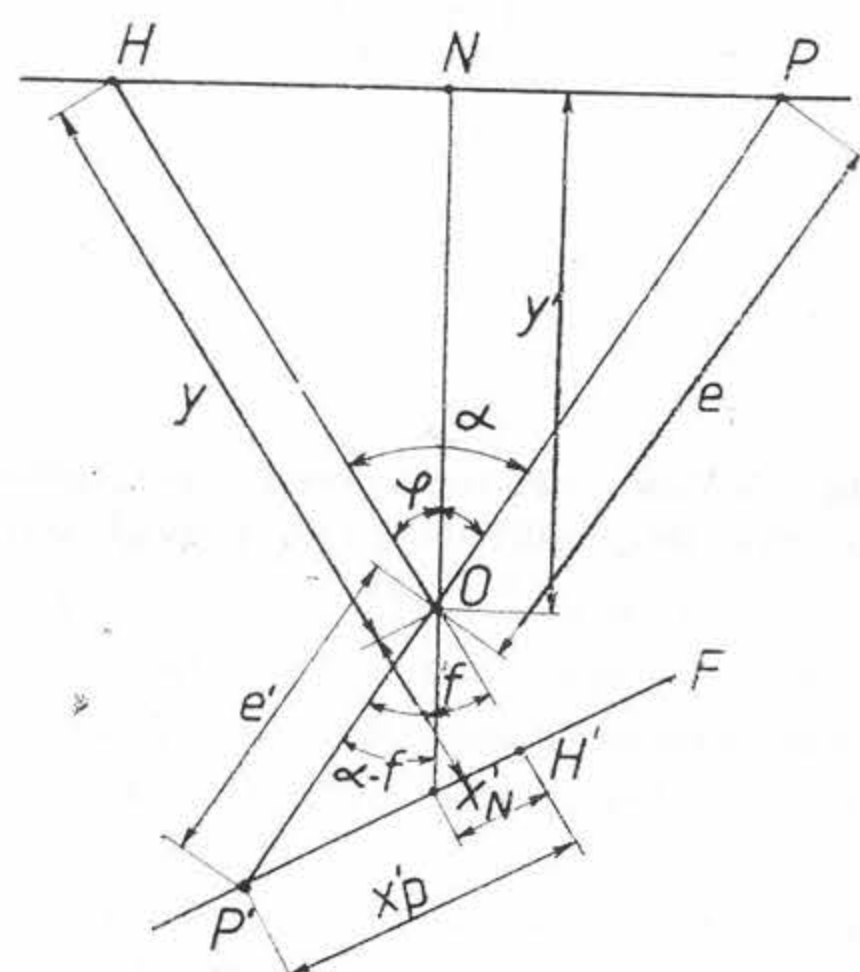


Fig. XV.99. Determinarea scării imaginii pe direcția Z .

$$m_{bzP} = \frac{Y}{f} \left(1 + \frac{f \cos \varphi}{x'_{P'} \sin \varphi} \right) \quad (5.26)$$

$$Z_P = m_{bzP} \cdot z'_{P'} \quad (5.27)$$

5.5.2. FOTOGRAMMETRIA CU DOUĂ IMAGINI

Practic fotogrammetria cu două imagini se manifestă sub două forme: 1) *fotogrammetria prin intersecție* și 2) *stereofotogrammetria*.

Fotogrammetria prin intersecție se folosește atunci când depărtarea obiectului față de bază este foarte mică, respectiv raportul $\frac{Y}{b} \approx 1$. Este avantajoasă în cazul obiectelor

abrupte cu suprafețe denivelate, când punctele omoloage pe cele două imagini sînt ușor identificabile și definite. Metoda are avantajul că se obține o precizie de determinare echivalentă pe cele trei axe $m_x \approx m_y \approx m_z$. Prin faptul că punctele omoloage trebuie să fie foarte bine definite pe fotograme, precum și exploatarea se poate face numai analitic, numai punct cu punct, metoda este încă puțin aplicată.

Coordonatele fotogrammetrice se pot obține fie cu ajutorul unui stereocomparator, fie individual.

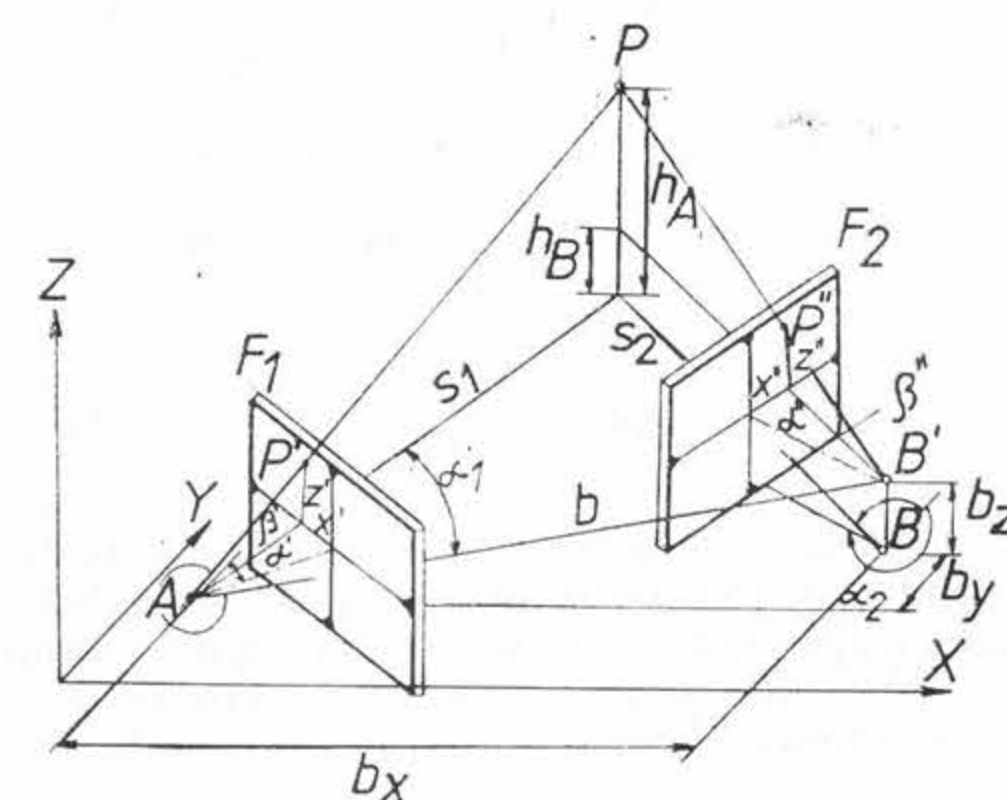


Fig. XV.100. Fotogrammetria prin intersecție.

Fie punctele A și B de capăt ale bazei a cărei lungime și orientare o cunoaștem. Se efectuează două fotograme cu axele de fotografiere orizontale perpendiculare pe planul fotogramei și convergente cu unghiurile σ_1 și σ_2 . Poziția punctelor izolate se determină prin intersecție înainte, cu ajutorul unghiurilor orizontale α_1 și α_2 (fig. XV.100):

$$\alpha_1 = \sigma_1 + \alpha'; \quad \alpha_2 = \sigma_2 + \alpha'' \quad (5.28)$$

Unghiurile α' , α'' , β' , β'' se determină din coordonatele fotogrammetrice cu relațiile:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{x'}{f}; \quad \operatorname{tg} \beta' = \frac{z' \cos \alpha'}{f} \quad (5.29)$$

$$\operatorname{tg} \alpha'' = \frac{x''}{f}; \quad \operatorname{tg} \beta'' = \frac{z'' \cos \alpha''}{f}$$

Față de sistemul de referință spațial cu originea în punctul A și cu axa X pe direcția bazei, rezultă:

$$\begin{aligned} X_P &= s_1 \cos \alpha_1 = b - s_2 \cos \alpha_2 \\ Y_P &= s_1 \sin \alpha_1 = s_2 \sin \alpha_2 \end{aligned} \quad (5.30)$$

dar:

$$s_1 = \frac{b \sin \alpha_2}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad s_2 = \frac{b \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (5.31)$$

deci:

$$X_P = \frac{b \sin \alpha_2 \cos \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad Y_P = \frac{b \sin \alpha_2 \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (5.32)$$

sau:

$$X_P = \frac{b \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2}; \quad Y_P = \frac{b \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (5.33)$$

Pentru calculul cotei Z_P se vor folosi relațiile:

$$h_A = s_1 \operatorname{tg} \beta'; \quad h_B = s_2 \operatorname{tg} \beta''$$

sau

$$h_A = \frac{b \sin \alpha_2 \operatorname{tg} \beta'}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}; \quad h_B = \frac{b \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \operatorname{tg} \beta'' \quad (5.34)$$

În cazul punctelor bine definite, relațiile de calcul pot fi programate pentru calcul automatizat. Pentru obținerea unor valori corecte trebuie să existe pe obiectul real puncte reper cu ajutorul cărora se vor determina unghiurile de convergență σ_1 și σ_2 .

Pentru o precizie ridicată este indicată orizontalizarea perfectă a axei de fotografiere și o bună centrare a aparatului în punctele de stație.

Convergența extremă. În cazul obiectelor foarte apropiate de bază, când $\frac{Y}{b} < 1$, pentru determinare se folosește convergența extremă. Practic în acest caz unghiurile de convergență $\sigma_1 = \sigma_2 = 200^\circ$. În fig. XV.101 se observă:

$$\frac{Y}{X} = \frac{x'}{f}; \quad \frac{Y}{b-X} = \frac{x''}{f} \quad (5.35)$$

sau

$$\frac{x'X}{f} = \frac{x''(b-X)}{f} \quad (5.36)$$

$$X(x' + x'') = x''b$$

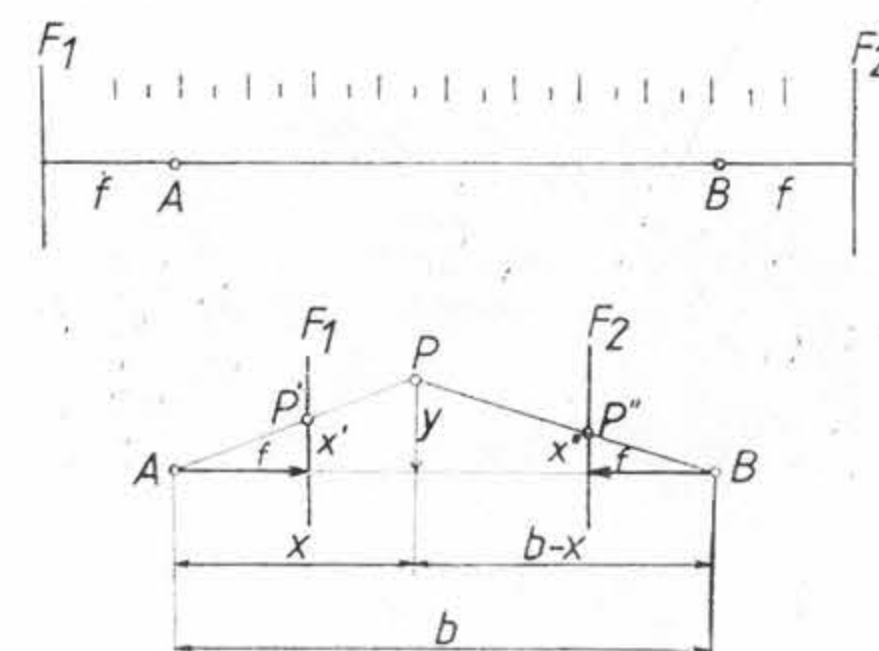


Fig. XV.101. Convergența extremă.

de unde

$$X = \frac{x''b}{x' + x''} \quad (5.37)$$

Înlocuind în relația (5.35) se obține relația lui Y

$$Y = \frac{x'}{f} \cdot \frac{x''b}{x' + x''} \quad \text{și} \quad Z = \frac{z'}{f} \cdot \frac{bx'}{x' + x''} \quad (5.38)$$

Stereofotogrammetria terestră. Metoda stereofotogrammetriei se folosește atunci când obiectul real se află la o distanță mare de baza de fotografiere, iar numărul punctelor de determinat este foarte mare. Pentru ca fotografiile să redea modelul spațial, trebuie să îndeplinească condițiile vederii stereoscopice, respectiv axele de fotografiere să fie riguros paralele între ele, iar între imagini să existe paralaxă stereoscopică ($p = x' - x''$). În general, axele de fotografiere sunt orizontale, ele pot fi însă și înclinate sub un unghi oarecare ω . După modul cum sunt orientate axele de fotografiere față de bază, deosebim în stereofotogrammetria terestră (fig. XV.102): cazul normal și cazul paralel deviat.

Cazul normal. Este cazul cel mai frecvent în practică. Axele de fotografiere sunt orizontale paralele și perpendiculare la bază. Coordonatele punctelor obiectului real se determină cu relațiile din (fig. XV.103):

$$Y_P = \frac{bf}{p} \quad (5.39)$$

$$X_P = \frac{bx'}{p} = \frac{Y}{f} x' \quad (5.40)$$

$$Z_P = \frac{bz'}{p} = \frac{Y}{f} z' \quad (5.41)$$

unde: $\frac{1}{m} = \frac{f}{Y}$ este scara modelului (5.42)

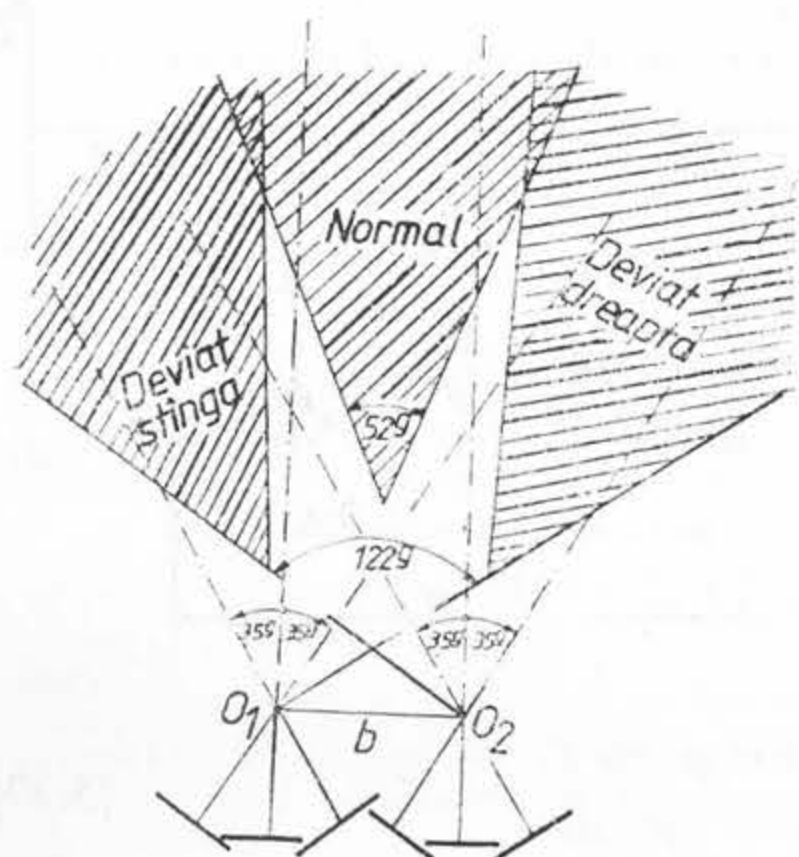


Fig. XV.102. Cîmpul de vedere al fototeodolitului pentru cazul normal și paralel deviat.

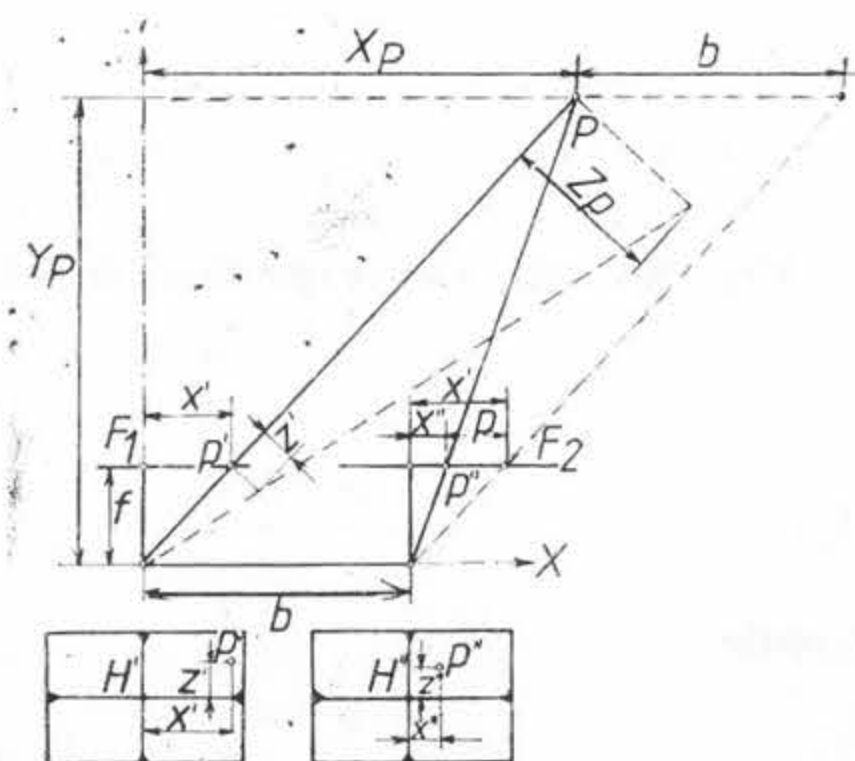


Fig. XV.103. Cazul normal al stereofotogrammetriei terestre.

Cazul paralel deviat. Acest caz se folosește în stereofotogrammetria terestră pentru creșterea cîmpului de fotografiere. Axele de fotografiere sînt paralele, orizontale, paralele între ele, dar deviate în același sens față de normala la bază cu un unghi φ (fig. XV. 104). Mărimea unghiului de deviere este în funcție de unghiul de cîmp al obiectivului fotogrametric. Este de remarcat că la creșterea unghiului de deviere ($\varphi = 50^\circ - 60^\circ$) scade ra-

portul $\frac{b'}{Y}$, ceea ce influențează negativ restituția și precizia de determinare.

Pentru fototeodolitul Photeo 19/1318, $\varphi = 35^\circ$, cu această valoare a devierii, fotografiile se suprapun peste cele normale și măresc unghiul de vedere al camerei la 125° pentru un punct de stație. În cazul fotografierii cu obiective grandangular se poate renunța la fotografierea paralel deviată.

Relațiile de calcul a coordonatelor punctelor din spațiul real vor fi, conform figurii XV. 104 :

$$Y = \frac{f}{p} \left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \sin \varphi \right)$$

$$X = \frac{Y}{f} x' = \frac{x'}{f} \left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \cos \varphi \right) \quad (5.43)$$

$$Z = \frac{Y}{f} z' = \frac{z'}{f} \left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \sin \varphi \right)$$

$$b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \sin \varphi = b' \quad (5.44)$$

poartă denumirea de bază de lucru sau efectivă.

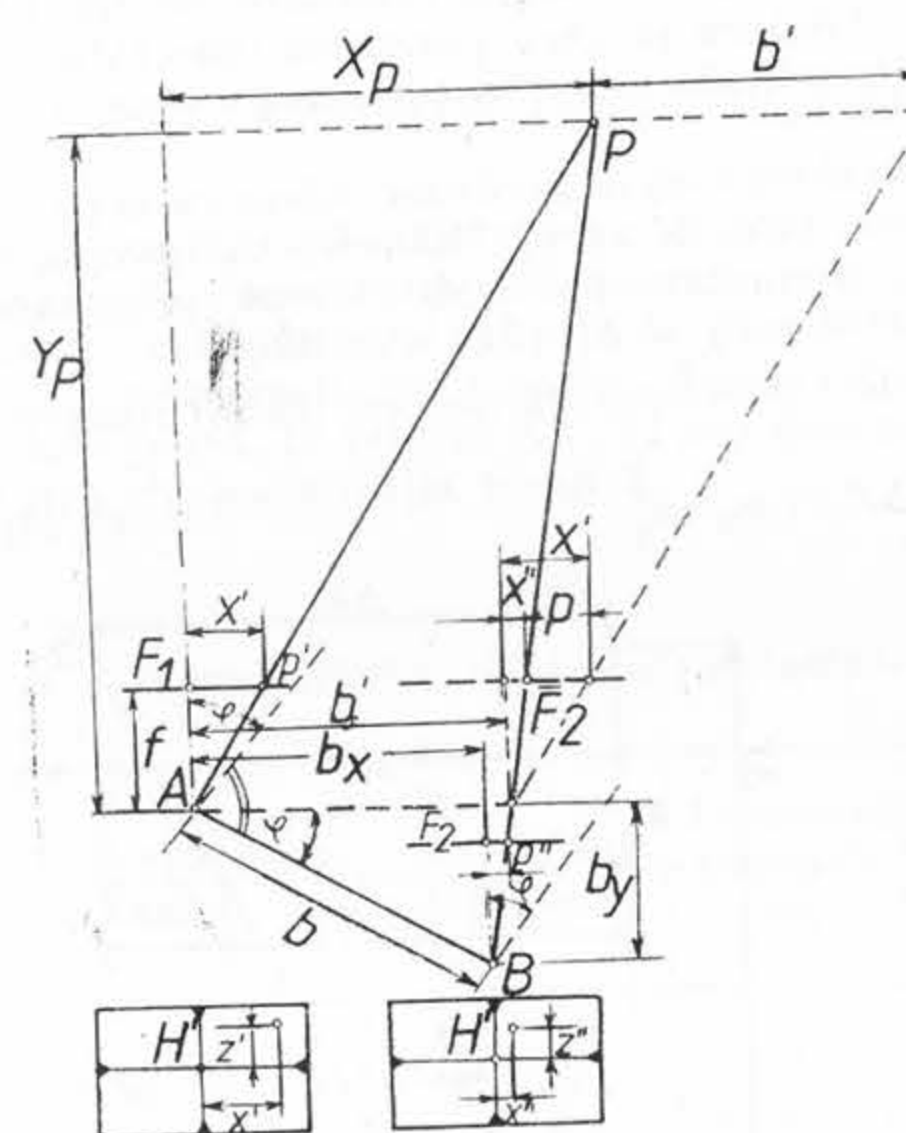


Fig. XV. 104. Cazul deviat al stereofotogrammetriei terestre.

Semnul + sau - se ia în funcție de felul devierii și anume: + pentru devierea dreaptă și - pentru stînga. Fotografiile deviate se efectuează legat de cele normale la bază.

Cazul înclinat. Considerăm caz înclinat în fotogrammetria terestră atunci cînd axa de fotografiere nu este orizontală, ci face un unghi $\omega \neq 0$. Coordonatele punctelor obiectului real se vor calcula conform fig. XV. 105, cu relațiile :

$$X = \frac{b}{p} x'; \quad Y = \frac{b}{p} f \left(\cos \omega \pm \frac{z'}{f} \sin \omega \right) \quad (5.45)$$

$$Z = \frac{b}{p} z' \left(\cos \omega \pm \frac{f}{z'} \sin \omega \right)$$

Acste transformări ale coordonatelor măsurate pe fotografiile înclinate în coordonate în spațiale ale punctelor față de sistemul tridimensional normal se realizează practic prin redresare cu ajutorul unui dispozitiv anex aparatului de restituție, denumit *calculator*.

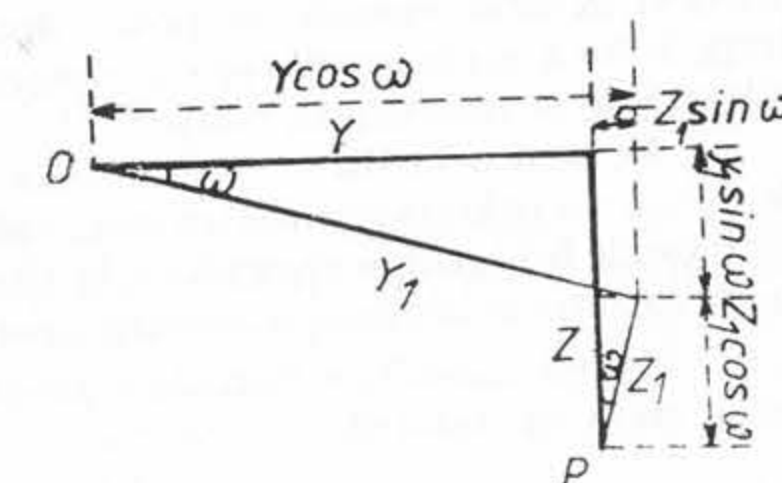


Fig. XV.105. Cazul înclinat al fotogrammetriei terestre.

de înclinare, care este interpus între restitutor și masa de desen. Cazul înclinat în fotogrammetria terestră apare tot mai mult datorită aparaturii de preluare construită pentru posibilități mai largi de folosire.

5.5.3. FOTOGRAMMETRIA PARALACTICĂ CU BAZĂ TIMP

Este o metodă relativ nouă a fotogrammetriei terestre și se batează pe măsurarea paralaxei pe fotograme singulare înregistrate consecutiv în timp și orientate identic. Cu ajutorul acestei metode se poate determina modificarea poziției punctelor obiectului în timp. Este avantajoasă pentru determinarea deformațiilor construcțiilor sau a obiectelor industriale și miniere în timp.

Pentru aceasta se vor efectua două fotografieri asupra aceluiași obiect cu aceleași elemente de orientare într-un interval de timp dat (baza de timp). Diferența de imagine a celor două fotograme executate la timpul t_1 și t_2 va constitui paralaxa stereoscopică, care va determina schimbarea poziției spațiale a punctului P_{t_1} și P_{t_2} (fig. XV. 106).

Componentele schimbării poziției punctelor obiectului paralel cu planul imagine vor fi date de relațiile:

$$\Delta X = m_1 \cdot p'_x; \Delta Z = m_1 \cdot p'_z \quad (5.46)$$

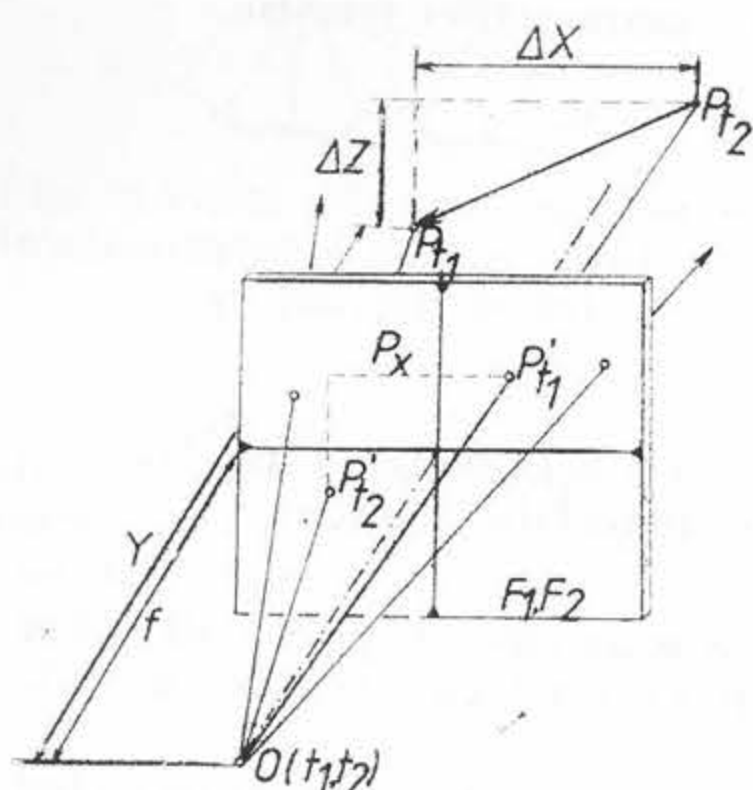


Fig. XV.106. Fotogrammetria cu bază de timp.

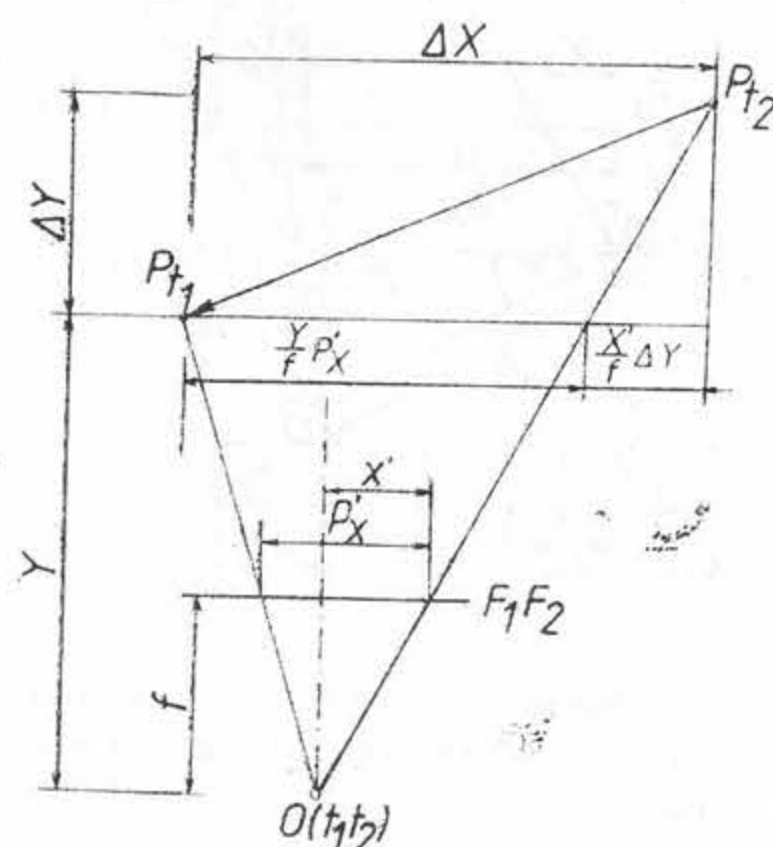


Fig. XV.107. Fotogrammetria cu bază de timp cu modificarea distanței la obiect.

În care: $m_1 = \frac{Y}{f}$ este numitorul scării imaginii; p'_x și p'_z sînt paralaxele stereoscopice pentru coordonatele fotogrammetrice x' și z' .

Mărimile acestor paralaxe se vor măsura cu ajutorul unui stereocomparator. Dacă punctele obiect își schimbă poziția și pe direcția Y, atunci componentele deplasării punctelor obiect se vor calcula cu relațiile (fig. XV. 107):

$$\Delta X = m_b p'_x + \frac{x'}{f} \Delta Y; \Delta Z = m_b p'_z + \frac{z'}{f} \Delta Y \quad (5.47)$$

5.6. APARATE DE RESTITUȚIE FOLOSITE ÎN FOTOGRAMMETRIA TERESTRĂ

Cu ajutorul aparatelor de restituție se reprezintă obiectele fotografiate pe baza măsurărilor efectuate pe fotograme. După modul de reprezentare a obiectului măsurat se împart în: *aparate de restituție analogice, aparate de restituție numerică, aparate de proiecție fotografică.*

5.6.1. APARATE DE RESTITUȚIE ANALOGICĂ

Au la bază principiul analogiei geometrice. Reconstituirea se realizează pe cale mecanică, obiectul măsurat se redă grafic la scară. Pentru restituția stereofotogramelor terestre pot fi folosite aparate de stereorestituție analogică sau aparate construite special pentru stereorestituția terestră. Această din urmă grupă de aparate este mult simplificată față de prima. În tabelul XV. 12 sînt prezentate cîteva tipuri de aparate construite numai pentru stereorestituția terestră.

Tabelul XV.12

Caracteristici tehnice ale principalelor aparate de stereorestituție terestră

Tipul aparatului	Firma constructoare	Formatul imaginii [cm]	Distanța focală [mm]	Convergența [grade]	bx. min.	Masa de desen
Tecnocartul	Zeiss-Jena	4×4—23×23	50—215	—2—6	0—240	600×800
Stereoauto-graful 1318	Zeiss-Jena	13×18	157—198	—2—5	0—60	800×800
Terragraph	Zeiss-Oberkochen	9×12	52—67	—	0—50	120×120
Autograf A40	Wild — Elveția	9×12	54—100	—	—	—

Tecnocartul. Este cel mai recent aparat de stereorestituție terestră construit de firma VEB Carl Zeiss Jena R.D.G. (fig. XV. 108). Tehnocartul permite restituția fotogramelor de toate formatele pînă la 23×23 cm, sub formă de negative sau pozitive pe suport de sticlă sau hîrtie și cu distanțe focale cuprinse între 50 și 215 m.

Restituie, de asemenea, stereograme normale, paralele deviate și înclinate. În acest ultim caz folosește un calculator de înclinare. Restituția grafică se efectuează pe o masă

de desen. Raportul de transmisie al aparatului la masa de desen poate fi schimbat în 21 scări între 0,16 și 6,25 ori. Cartografierea se realizează în trei plane de proiecție XY , XZ , YZ .

Tehnocartul este construit pe principiul paralelogramului Zeiss, cu rezolvare mecanică analogă pentru fiecare cameră de proiecție a imaginii. Stereorestituitorul are posibilitatea restituirii numerice, pentru care este prevăzut cu niște contoare numerice divi-

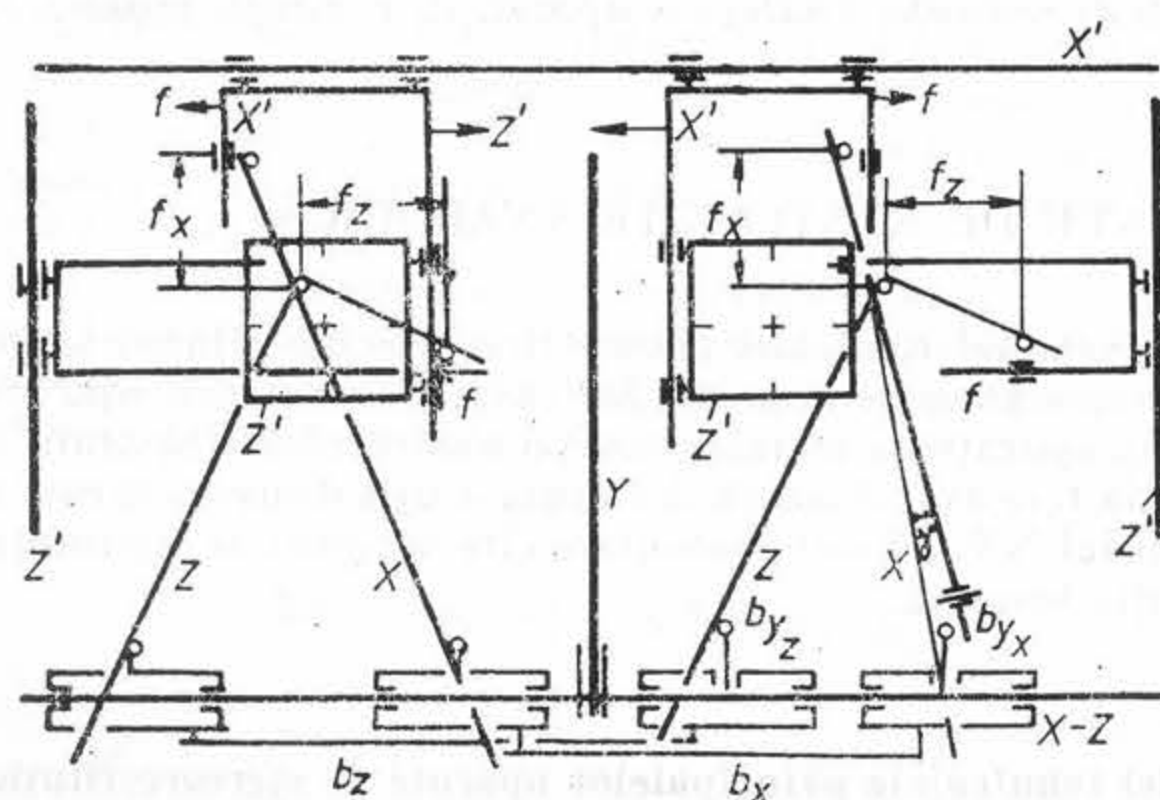


Fig. XV.108. Schema de principiu a tehnocartului.

zate. Restituția numerică servește pentru determinarea punctelor individuale. Coordonatele acestor puncte pot fi înregistrate de un coordimetru și afișate pe benzi cu ajutorul unei mașini de scris.

Restituția la tehnocart. Pentru a restitui un cuplu stereoscopic cu ajutorul unui aparat de stereorestituție, trebuie ca acesta să fie orientat în apratul respectiv. Orientarea stereogramelor, așa cum s-a arătat în 5.2.4., cuprinde orientarea interioară și exterioară care, la rândul ei, este relativă și absolută.

Orientarea interioară se realizează prin introducerea distanței focale a obiectivului aparatului de prelucrare la cele patru contoare c_k ale restituitoarelor, cu o precizie de 0,02 mm, iar punctul principal al fotogramelor prin suprapunerea reperelor fotogrammetrice ale fotogramelor pe axele portclîșelor aparatului de restituție.

După efectuarea orientării interioare, pentru a obține modelul stereoscopic la o scară dorită, se realizează orientarea exterioară relativă, care constă în introducerea componente bazei de fotografiere în aparat. Scara modelului se alege în funcție de depărtarea y_{max} și y_{min} de fotografiere și posibilitatea de deplasare a axei pe direcția Y' a aparatului și de scara de restituție, astfel ca să poată fi restituite cât mai multe puncte.

$$m_m = \frac{y_{max}}{y'_{max}}; \quad m_m = \frac{y_{min}}{y'_{min}} \quad (5.48)$$

Astfel pentru $y_{max} = 700$ m și $y_{min} = 140$ m

$$m_m = \frac{700}{0,35} = 2000 \quad \text{respectiv} \quad m_m = \frac{140}{0,035} = 4000$$

Deci scara modelului poate fi aleasă între 1:2000 și 1:4000. Componentele bazei se calculează cu relațiile:

— pentru cazul normal:

$$b_x = \frac{b}{m_m}; \quad b_z = \frac{h}{m_m} \quad (5.49 \text{ a})$$

— pentru cazul paralel deviat:

$$b_x = \frac{b \cos \varphi}{m_m}; \quad b_y = \frac{b \sin \varphi}{m_m}; \quad b_z = \frac{h}{m_m} \quad (5.49 \text{ b})$$

în care: b este baza de fotografiere; h — diferența de cote dintre capetele bazei; φ — unghiul de deviere.

Orientarea exterioară absolută se realizează cu ajutorul reperelor fotogrammetrice a căror coordonate geodezice sînt cunoscute. Aceste puncte de reper se raportează pe planșa de pe masa de desen la scara de restituție. După ce au fost stabilite și introduse la stereorestituitor și la masa de desen, roțile dințate pentru transformarea scării modelului la scara de restituție se puntează pe modelul stereoscopic cu *marca reper* unul din repere, iar trasorul de la masa de desen se va conduce pe punctul corespunzător pe planșă. Se puntează apoi un alt punct al modelului, iar planșa se va roti în jurul primului punct pînă cînd punctul corespunzător de pe planșă va veni sub dispozitivul trasor. Pentru control se va proceda în același mod și pentru alte repere.

Pentru introducerea originii pentru cote se puntează un reper fotogrammetric și menținînd marca pe punct (la nivelul terenului) se introduce la contoarul de cote valoarea cotei geodezice a punctului respectiv. Se puntează apoi alt reper de cotă cunoscută și se compară cu cele geodezice, diferențele între cote nu trebuie să depășească ± 10 cm.

Pe planșele astfel orientate se vor trasa elementele de planimetrie sau relieful terenului. Obținerea restituirii în planul de proiecție dorit depinde de modul de conectare a masei de desen la direcțiile de deplasare a stereorestituitorului.

5.6.2. APARATE DE RESTITUȚIE NUMERICĂ

Sînt aparatele care redau obiectul sub forma unor puncte de coordonate spațiale cunoscute. Pentru determinarea coordonatelor spațiale se efectuează măsurători pe imaginile fotografice cu ajutorul mono sau stereocomparatoarelor. Printr-o prelucrare pur numerică, cu ajutorul relațiilor stabilite în § 5.5.2.2. se obțin coordonatele spațiale ale modelului sub forma unui inventar de coordonate. Coordonatele punctelor modelului se transformă în coordonate geodezice cu ajutorul relațiilor (5.53). Pentru restituția fotogramelor terestre, firma Zeiss Jena a construit stereocomparatorul Steko 18×18. Aparatul permite măsurarea punct cu punct a modelului stereoscopic cu o precizie de 0,01 mm și cu o precizie de 0,005 mm a paralaxelor.

5.6.3. APARATE DE RESTITUȚIE ANALITICĂ

Pe baza rezultatelor măsurătorilor efectuate pe imaginile fotografice, coordonatele modelului stereoscopic și coordonatele geodezice, coordonatele modelului stereoscopic și coordonatele geodezice ale punctelor se calculează cu ajutorul calculatoarelor electronice

Din această categorie de aparate fac parte: Analiticul Plotter AP/1, AP-2, AS-11, produse de firma OMI Italia și Beudix Corporation.

Aceste aparate se folosesc pentru măsurători de precizie la scări mari, eficiența lor economică fiind condiționată de posibilitatea automatizării întregului flux de operații. Noile aparate automatizate se caracterizează prin faptul că nu se mai apelează la operatorul uman pentru efectuarea identificării punctelor omoloage, ci se efectuează automat cu ajutorul unui *corelator de imagini*.

5.6.4. APARATE CU PROIECȚIE FOTOGRAFICĂ

Fotograma, imagine fotografică metrică, în proiecție centrală este o reprezentare analogică a obiectului măsurat. Datorită acestui fapt ea poate fi prelucrată prin proiecție fotografică pentru a fi transformată la scara dorită. Transformarea la scară se poate realiza cu ajutorul aparatelor de mărit cu caracteristici tehnice adecvate negativului. Dacă axa de fotografiere n-a fost perpendiculară pe obiectul fotografiat, transformarea acesteia într-o fotogramă nedeformată se realizează prin fotoredresare cu ajutorul unor aparate special construite acestui scop.

5.7. ERORI ÎN DETERMINAREA COORDONATELOR PUNCTELOR SPAȚIALE

5.7.1 DETERMINAREA ERORILOR

Coordonatele spațiale ale punctelor din spațiul obiect depind de elemente măsurate direct, elemente ce sînt influențate de erori. Cunoașterea acestor erori este necesară pentru corectarea rezultatelor obținute, fie prin impunerea unor condiții de lucru, fie prin alegerea unei aparaturi adecvate care să asigure sau să ridice precizia în determinarea coordonatelor.

Pornind de la relațiile (5.39)–(5.41) ce exprimă coordonatele unui punct în cazul normal al fotogrammetriei terestre, prin diferențierea acestora se obține:

$$dY = \frac{Y}{f} db + \frac{Y}{f} df - \frac{Y^2}{bf} dp \quad (5.50)$$

$$dX = \frac{X}{Y} dx + \frac{X}{x'} dx' - \frac{X}{f} df \quad (5.51)$$

$$dZ = \frac{Z}{Y} dy + \frac{Z}{z'} dz' - \frac{Z}{f} df \quad (5.52)$$

Din relația (5.50) se observă că influența cea mai mare asupra determinării lui Y o are ultimul termen datorită exponentului pătratic. Analizînd acest termen se vede că eroarea de măsurare a paralaxei este afectată de măsurarea celor două coor-

donate fotogrammetrice x' și x'' care, la rîndul lor, sînt afectate de elementele de orientare interioară și exterioară a fotogramelor. În tabelul XV.13 sînt date erorile de măsurare ce influențează asupra erorii ΔY , precum și proveniența acestora.

Se vede, de asemenea, că eroarea lui Y este invers proporțională cu mărimea bazei și a distanței focale, deci pentru obținerea unor erori mici vor fi optime bazele mari și aparatele de fotografiat cu distanțe focale mari. Din analiza relațiilor (5.51) și

Tabelul XV.13

Erori de măsurare ce influențează asupra erorii ΔY

Natura erorii	Simbol	Mărimea erorii
Eroarea datorită punctului principal H'	dx'_H, dx''_H	$\frac{Y^2}{bf} (dx'_H - dx''_H)$
Eroarea de distanță focală	df_1, df_2	$\frac{Y}{bf} [X(df_1 - df_2) + bdf_2]$
Eroarea de bază	db	$\frac{Y}{b} db$
Eroarea de orientare a axelor de fotografiere	$d\varphi_1, d\varphi_2$	$\frac{Y^2 + X^2}{b} d\varphi_1 - \frac{Y^2 + (X-b)^2}{b} d\varphi_2$
	$d\omega_1, d\omega_2$	$\frac{Z}{b} [X(d\omega_2 - d\omega_1) - b d\omega_2]$
	dx_1, dx_2	$\frac{XY}{b} (dx_2 - dx_1)$

(5.52) rezultă că eroarea ΔY intervine și în determinarea erorilor pentru coordonatele X și Z .

5.7.2 CORECTAREA ERORILOR

Influența erorilor mai sus arătate asupra modelului poate fi stabilită cunoscînd în spațiul modelului, coordonatele spațiale ale unor puncte bine definite și identificabile care să fie înregistrate prin fotografiere pe cuplu stereoscopic. Comparînd aceste coordonate adevărate ale punctelor reper cu coordonatele lor obținute prin restituție se oferă un control și un mijloc de ameliorare a elementelor de orientare exterioară și interioară. Cu aceste îmbunătățiri ale elementelor de orientare se vor calcula coordonatele punctelor din spațiul obiect.

5.7.3. TRANSCALCULAREA COORDONATELOR SPAȚIALE XY ÎN SISTEMUL GEODEZIC \bar{X}, \bar{Y}

Pentru transcalcularea coordonatelor spațiale în sistemul topografic \bar{X}, \bar{Y} (fig. XV.109) se folosesc următoarele grupuri de relații:

Transformarea Helmert transcalculează la scară coordonatele X și Y . Se folosește pentru $n > 2$.

$$X = ax + by + C_1 = a\Delta x + b\Delta y + X_S \quad (5.53)$$

$$Y = bx + ay + C_2 = b\Delta x + a\Delta y + Y_S$$

unde: n este numărul punctelor de transformare; a, b — coeficienți de transformare; C_1, C_2 — coeficienți de deplasare a originii sistemului spațial XY .

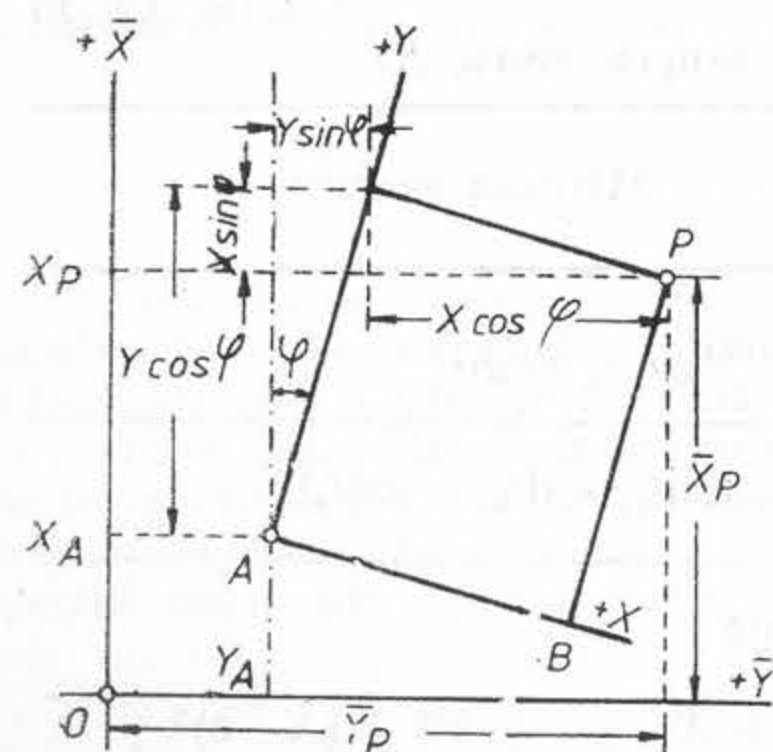


Fig. XV.109. Transcalcularea coordonatelor spațiale ale modelului stereoscopic în coordonate geodezice.

$$a = \frac{(\Delta X_i \cdot \Delta \bar{X}_i) + (\Delta Y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)}{(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) + (\Delta y_i \cdot \Delta y_i)} = \frac{A}{N}$$

$$b = \frac{(\Delta X_i \cdot \Delta \bar{Y}_i) + (\Delta Y_i \cdot \Delta \bar{X}_i)}{(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) + (\Delta y_i \cdot \Delta y_i)} = \frac{B}{N} \quad (5.54)$$

$$C_1 = \bar{X}_S - aX_S + bY_S; C_2 = \bar{Y}_S - aY_S - bY_S \quad (5.55)$$

$$\bar{X}_S = \frac{(\bar{X}_i)}{n}; \quad \bar{Y}_S = \frac{(\bar{Y}_i)}{n}$$

$$X_S = \frac{(X_i)}{n}; \quad Y_S = \frac{(Y_i)}{n} \quad (5.56)$$

$$\Delta X_i = X_i - X_S; \quad \Delta Y_i = Y_i - Y_S$$

$$\Delta \bar{X}_i = \bar{X}_i - \bar{X}_S; \quad \Delta \bar{Y}_i = \bar{Y}_i - \bar{Y}_S \quad (5.57)$$

unde: $\bar{X}_i, \bar{Y}_i; X_i, Y_i$ sînt coordonatele punctelor reper în cele două sisteme.

Transformarea afină se folosește pentru $n > 3$. Cu această transformare, erorile sistematice pot fi mai bine corectate.

$$\bar{X} = a_1X + b_1Y + C_1 = a_1X + b_1Y + \bar{X}_S$$

$$\bar{Y} = a_2X + b_2Y + C_2 = a_2X + b_2Y + \bar{Y}_S \quad (5.58)$$

$$a_1 = \frac{(\Delta x_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta y_i \cdot \Delta Y_i) - (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i)}{(\Delta x_i \cdot \Delta x_i)(\Delta y_i \cdot \Delta y_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta y_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)} = \frac{A_1}{N}$$

$$b_1 = \frac{(\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{B_1}{N} \quad (5.59)$$

$$a_2 = \frac{(\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{A_2}{N}$$

$$b_2 = \frac{(\Delta x_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta y_i \cdot \Delta y_i) - (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{B_2}{N}$$

$$C_1 = X_S - a_1X_S + b_1Y_S$$

$$C_2 = Y_S - a_2Y_S - b_2Y_S \quad (5.60)$$

5.8. LUCRĂRI DE TEREN ÎN FOTOGRAMMETRIA TERESTRĂ

În vederea stabilirii elementelor de orientare exterioară a fotogramelor este necesară întocmirea unui proiect de fotografiere care constă în următoarele operații:

— delimitarea zonei sau a obiectului de fotografiat;

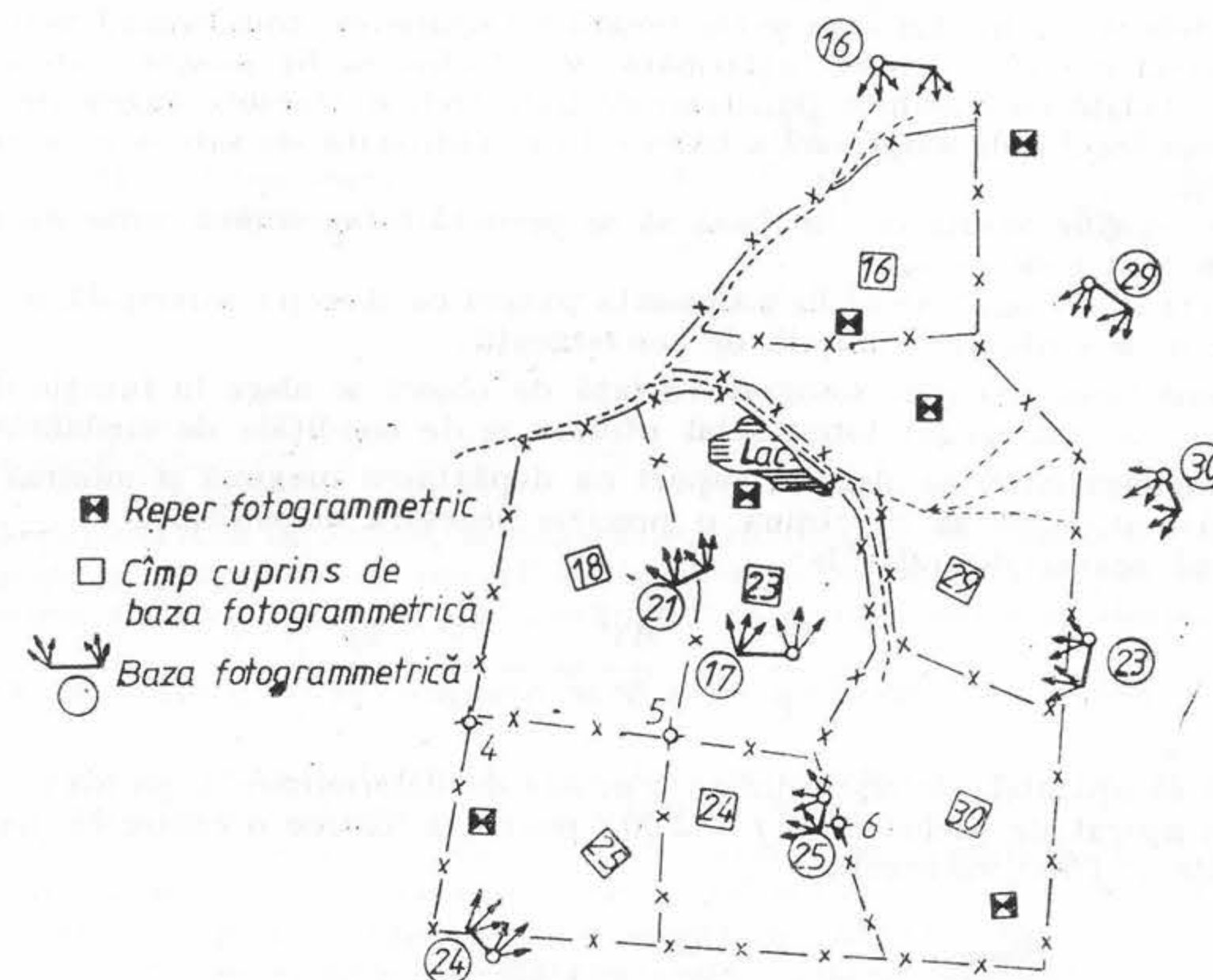


Fig. XV.110. Proiect de fotografiere.

- alegerea aparaturii de fotografiere și a metodei de lucru;
- stabilirea punctelor de stație și a bazelor de fotografiere;
- stabilirea punctelor de reper și amplasarea lor;
- legarea punctelor de capăt ale stației și ale punctelor de reper din rețeaua geodezică existentă, în vederea orientării exterioare a fotogramelor (fig. XV.110).

După efectuarea acestor operații, proiectul se definitivează prin recunoașterea terenului și se poate trece la fotografierea propriu-zisă. Zona sau obiectul de fotografiat se delimitează fie pe planuri și hărți, dacă acestea există inițial, sau prin recunoașterea lor în teren. Scopul acestei operații este de a stabili dimensiunea cîmpului de fotografiere (funcție de care se alege camera de fotografiat), amplasarea bazelor de fotografiere în vederea racordării fotogramelor, amplasarea reperajului și în final soluția de fotografiere.

În alegerea metodei de lucru, a aparaturii de preluare și prelucrare a fotografiilor, în stabilirea și determinarea bazelor de fotografiere se pleacă de la precizia necesară pentru reprezentarea obiectului.

5.8.1. STABILIREA PUNCTELOR DE STAȚIE ȘI A BAZELOR FOTOGRAMMETRICE

Punctele de stație din care se efectuează fotografierea, constituind prin coordonatele lor elemente de orientare exterioară, vor trebui să fie puncte stabile și bine determinate. Odată cu stabilirea punctelor de bază trebuie stabilite bazele de fotografiere. Alegerea locului de amplasare a bazei este condiționată de satisfacerea următoarelor condiții:

— se va ține seama ca din bază să se permită fotografierea unor porțiuni cât mai mari și fără zone ascunse;

— baza de fotografiere să fie amplasată paralel cu direcția principală a obiectului, pentru a se evita deformările de convergență;

— depărtarea bazei de fotografiere față de obiect se alege în funcție de scara de redactare, de materialul fotosensibil utilizat și de condițiile de vizibilitate;

— lungimea bazei se alege în raport cu depărtarea maximă și minimă față de obiectul măsurat, încât să se obțină o precizie necesară măsurătorii.

Ținând seama de relațiile:

$$Y = \frac{bf}{p} \quad \text{și} \quad \frac{dY}{Y} = - \frac{Y}{b} \cdot \frac{dp}{f}$$

și de faptul că aparatele de restituție au o eroare de determinare a paralaxei de 0,01 mm, cu un aparat de preluare cu $f = 200$, pentru a obține o eroare în determinarea lui Y de 1:1000 va rezulta:

$$\frac{b_{min}}{Y_{max}} = - \frac{Y}{dY} \cdot \frac{dp}{f} = 1000 \cdot \frac{0,01}{200} = - \frac{1}{20}$$

sau

$$b_{min} \geq \frac{1}{20} Y_{max}$$

Pentru o paralaxă stereoscopică de 40–50 mm ce se realizează prin fotografiere cu fototeodolitul Photo 19/1318

$$b_{max} = \frac{50}{200} Y = \frac{1}{4} \dots \frac{1}{5} Y$$

Deci pentru un fototeodolit cu $f = 200$ mm baza de fotografiere trebuie cuprinsă

$$\frac{Y_{max}}{20} \leq b \leq \frac{Y_{min}}{4} \quad (5.61)$$

La stabilirea lungimii bazei, în afară de valoarea paralaxei și a preciziei de determinare, trebuie să se mai țină seama și de scara de redactare. Amplasarea bazelor se face în așa fel încât cîmpul de fotografiere să acopere zona de măsurat, ca să nu rămână goluri în măsurători. Atunci cînd pentru preluarea unui obiect este nevoie de mai multe baze, este indicat a se amplasa baze legate între ele (fig. XV.111).

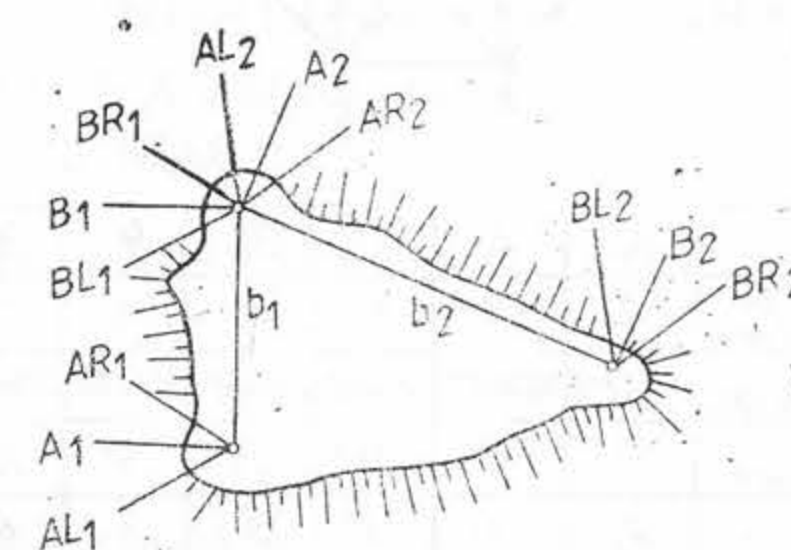


Fig. XV.111. Amplasarea bazelor fotogrammetrice legate.

Trebuie avută în vedere, la amplasare, atât condiția de vizibilitate din punctele de stație către zona de fotografiat, cât și vizibilitatea reciprocă între punctele de stație. La stabilirea punctelor de capăt ale bazei trebuie să se țină seama ca diferența de nivel dintre ele să fie $\Delta h \leq \frac{1}{5} b$. Lungimea bazei se măsoară direct cu ruleta cînd este mai

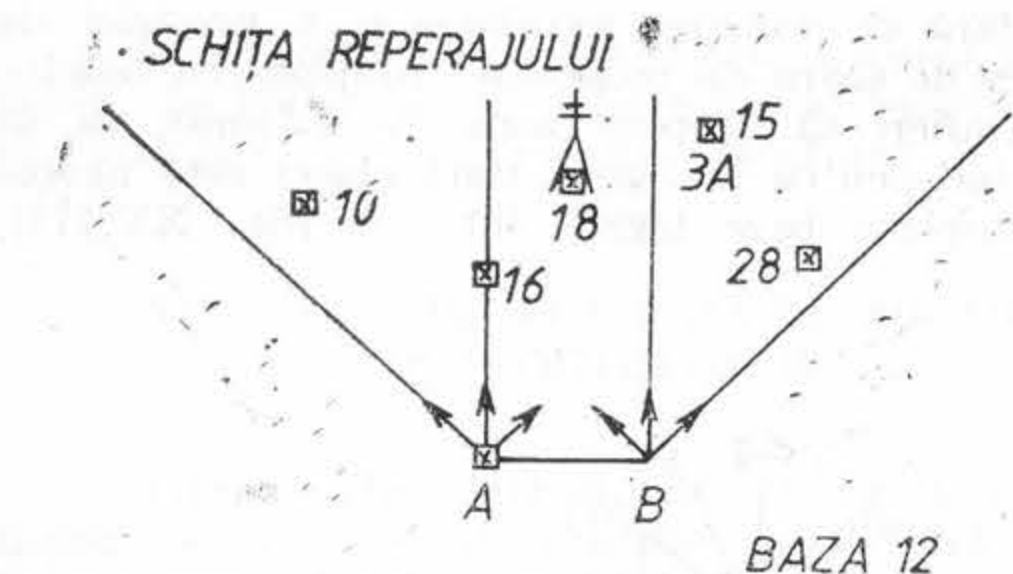
mică de 50 m, sau cu mira de invar. Măsurarea se efectuează de 3–6 ori, pentru a se asigura o precizie în măsurare de 1/10 000–1/20 000.

În funcție de dispunerea obiectului de fotografiat, de depărtarea lui față de bază, se vor stabili camera de fotografiat (fototeodolitul sau camere stereometrice) și metode de lucru (stereofotogrammetria sau intersecția). La alegerea tipului de aparat se va ține seama de caracteristicile tehnice ale acestora (tabelele XV.10 și XV.11).

5.8.2. REPERAJUL FOTOGRAMMETRIC

Atît controlul elementelor de orientare exterioară și a preciziei de determinare cît și legarea sistemului de coordonate fotogrammetrice cu sistemul de referință geodezic se fac prin punctele de reper. Dispunerea punctelor de reper se face conform proiectului și a posibilității de legare a acestor puncte de punctele geodezice existente. Practic pentru fiecare bază de fotografiere sînt necesare 4 puncte de reper dispuse pe întreg cîmpul de fotografiere. Cel puțin un punct trebuie să fie comun atît preluărilor normale cît și celor deviate stînga și dreapta. De asemenea, este nevoie ca să existe repere comune bazelor vecine, pentru a se putea realiza racordarea stereogramelor (fig. XV.112).

Reperele fotogrammetrice se materializează, în funcție de durabilitatea lucrărilor, prin țăruiși de lemn sau oțel, iar semnalizarea lor se face cu panouri vopsite bicolor (albastru marin și galben citron). Forma și dimensiunile panourilor depind de forma și depărtarea obiectului de stație (fig. XV.113).



	AL	A	AR	BL	B	BR
Orizont de fotografiere	-15	-15	-15	-15	-15	-15
Orientarea axelor de foto	65/265	100/300	135/335	265/65	300/100	335/135
Timp de expunere	20 ^s	20 ^s	20 ^s	20 ^s	20 ^s	20 ^s
Caseta	2	1	3	5	4	6
Înălțime aparat		12				

Fig. XV.112. Amplasarea reperelor fotogrammetrice față de baza de fotografiere.

5.8.3. LEGAREA PUNCTELOR DE CAPĂT ALE BAZEI FOTOGRAMMETRICE ȘI A PUNCTELOR DE CONTROL LA REȚEAUA GEODEZICĂ

Determinarea coordonatelor spațiale ale punctelor de reper se face prin metode geodezo-topografice cunoscute, în funcție de configurația terenului, a numărului și dispunerii acestor puncte. Printre metodele mai des utilizate sînt intersecțiile în cazul punctelor dispărute și a poligonatilor (drumuirii) în cazul cînd punctele sînt amplasate în apropiere unul față de celălalt.

Pentru determinarea cotelor punctelor de stație și de reper se folosește nivelul geometric. La determinarea coordonatelor geodezice ale reperelor și a punctelor de control trebuie să se țină seama de precizia cerută, de scopul pentru care se execută lucrările de reperaj. În consecință, metoda de determinare trebuie aleasă în funcție de această precizie.

După ce aceste operații au fost efectuate, se trece la executarea fotografiilor. Fotografierea este operația de mare răspundere care contribuie la calitatea întregii lucrări de măsurare. Orice greșală sau neglijență este o sursă de erori și conduce la refacerea fotografierii. De aceea, în efectuarea fotografierii trebuie să se țină seama de următoarele condiții:

- fotografierea să se efectueze în momentul celei mai bune iluminări a obiectului;
- timpul de expunere să fie corect stabilit, avînd în vedere sensibilitatea emulsiei fotosensibile 1—5 DIN;
- menținerea pe tot timpul fotografierii a axei de fotografiere riguros orizontală și perpendiculară pe planul imagine (verificarea miretelor);

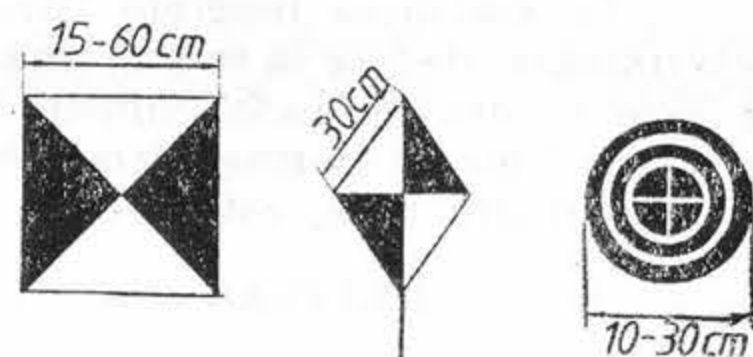


Fig. XV.113. Tipuri de repere fotogrammetrice.

- menținerea orientării axelor de fotografiere.

În cazul executării din două puncte de stație ale bazei de fotografiere, se va ține seama ca fotografierea să se facă în aceleași condiții de iluminare. Datele necesare exploatarei fotogramelor se vor trece într-un tabel de date (fig. XV.112).

5.9. REZOLVAREA UNOR PROBLEME TOPOGRAFICE PRIN METODE FOTOGRAMMETRICE

5.9.1. MĂSURAREA VOLUMELOR EXCAVATE ÎN CARIERE

Utilizarea metodelor fotogrammetrice în determinarea volumelor excavate în cariere este motivată de avantajele pe care le oferă această metodă comparativ cu cele clasice:

- fidelitatea planului de situație al carierei și al profilelor excavate;
- randamentul ridicat al măsurătorilor.

Distingem următoarele procedee de determinare a volumelor excavate:

- procedeul rețelilor orizontale;
- procedeul rețelilor verticale;
- procedeul secțiunilor orizontale;
- procedeul secțiunilor verticale.

Alegerea procedurii este în funcție de zona de amplasare a carierei, de înălțimea treptei, de situația reliefului din jur. Oricare ar fi procedeul ales pentru culegerea informațiilor, este necesar a se stabili o stație de măsurare. Stația de măsurare constă în stabilirea pe teren a bazelor de fotografiere, a punctelor de control fixe și mobile necesare orientării absolute. Se recomandă stabilirea unui număr minim de baze. Poziția lor să fie stabilă și fixă pe tot timpul măsurătorilor. Pentru ca restituția să se efectueze simplu, se indică ca bazele să fie paralele cu frontul de lucru.

Atît punctele de capăt ale bazelor cît și punctele de reper se determină prin metode topografice în sistemul de referință al carierei sau într-un sistem de referință ales. Pentru determinarea periodică a volumelor se efectuează înregistrarea fotografică asupra zonelor excavate, cu ajutorul fototeodolitelor, în diferite perioade. Reperele fixe se semnalizează la fiecare înregistrare, preluarea efectuîndu-se din aceleași puncte de stație.

Ca metode de prelucrare a înregistrărilor se folosește stereorestituția analogică sau numerică. Pe baza stereofotogramelor, cu ajutorul aparatului de restituție se obține planul de situație al carierei la scara convenabilă, care conține treptele carierei, cotele de nivel ale fiecărei trepte, drumurile de acces.

Procedeul rețelilor orizontale constă în elaborarea modelului numeric al terenului și al zonei excavate (fig. XV.114).

Volumul excavat se calculează cu relația:

$$V = S \sum_{n=1}^n h_i \quad (5.62)$$

în care: S este suprafața totală a zonei excavate; h_i — cota medie a punctelor rețelei.

Această suprafață se determină prin metode topografice cunoscute pe planul de situație al terenului.

Volumul excavat într-un interval de timp este dat de diferența de volum dintre două determinări succesive:

$$\Delta V = V_{t1} - V_{t2}$$

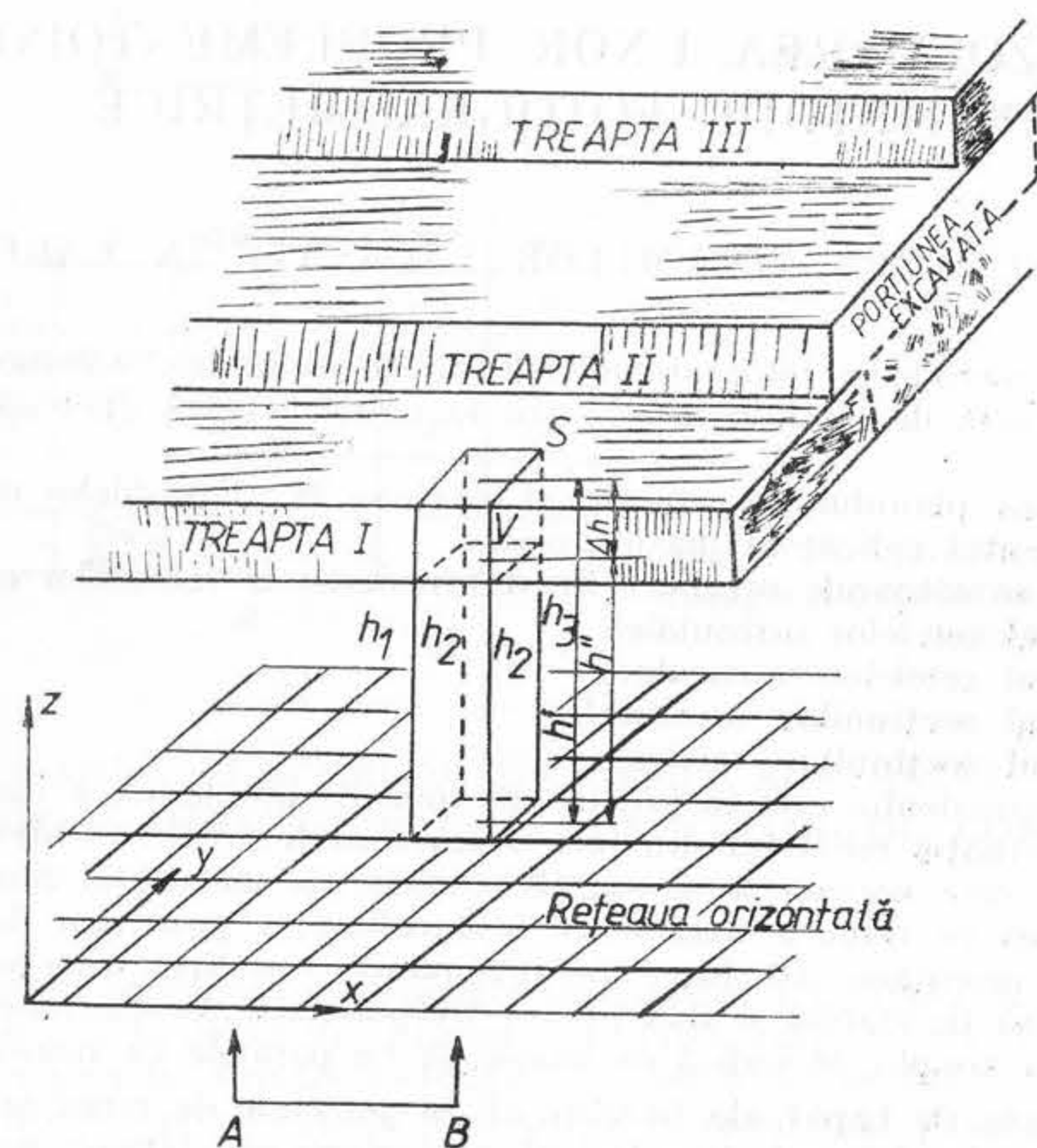


Fig. XV.114. Principiul rețelei orizontale.

Cu planul de situație orientat pe masa coordonatografică prin punctele de reper și cu masa de desen cuplată la aparatul de restituție pentru proiecția xy , se pun ctează nodurile, iar pe modelul stereoscopic se citește la tamburcota z a punctelor respective.

Procedeu rețelelor verticale. Este asemănător procedeuului anterior. Rețeaua verticală se obține prin împărțirea planului vertical XZ în rețea de pătrate. Acest plan trebuie să fie paralel cu baza de fotografiere. Elementul variabil este depărta rea Y , care se va citi la aparatul de restituție (fig. XV.115).

$$V = S \sum_{i=1}^n y_i \quad (5.63)$$

Volumul excavat într-un interval de timp va fi dat de diferența volumelor obținute la două momente de măsurare. Cele două procedee au o serie de dezavantaje în organizarea lucrărilor și nu au o maximă operativitate în lucru.

Procedeu secțiunilor orizontale. Constă în secționarea corpului cu plane de secționare orizontale echidistante (fig. XV.116).

Între aceste două secțiuni se formează câte un corp fictiv elementar. Urmele acestui corp inclus pe secțiunile plane care îl delimitează sînt poligoane închise a căror arie se poate calcula analitic sau grafic.

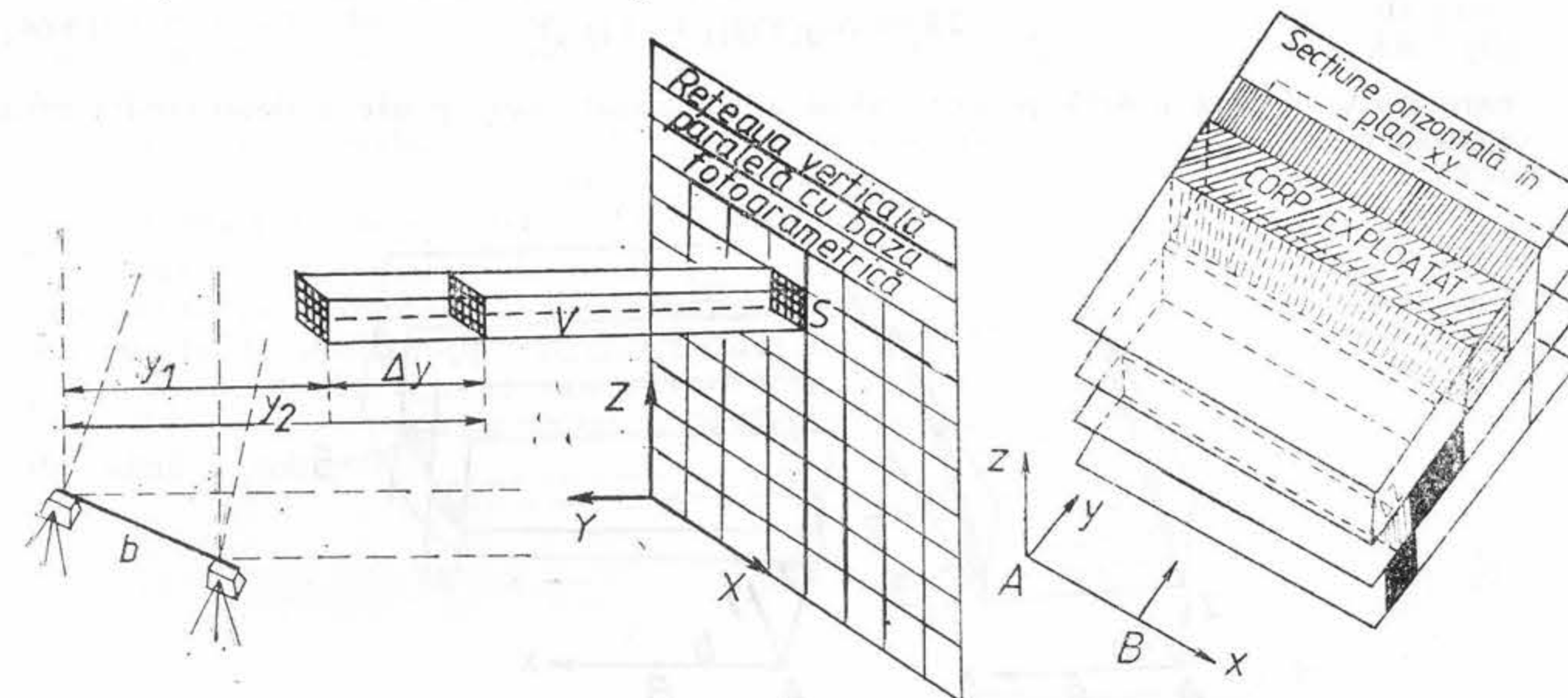


Fig. XV.115. Principiul rețelei verticale.

Fig. XV.116. Principiul secțiunilor orizontale.

Volumul excavat delimitat de două secțiuni se calculează cu una din relațiile:

$$V_i = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot d \quad (5.64 a)$$

sau

$$V_i = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} \cdot d \quad (5.64 b)$$

în care: S_1, S_2 sînt ariile secțiunilor; d este echidistanța între secțiuni.

Relația (5.64 a) se folosește cînd S_1 și S_2 au valori apropiate, iar relația (5.64 b) cînd ariile secțiunilor sînt diferite.

Pentru operativitate în calcul se alege un sistem de coordonate particular, cu axa X perpendiculară cu frontul de lucru, iar axa Y pe direcția de înaintare. În acest caz volumul total va fi:

$$V_t = \Delta Z \frac{[S_1 + S_2 + 2(S_2 + \dots + S_{n-1})]}{2} \quad (5.65 a)$$

sau

$$V_t = \frac{\Delta Z}{3} [(S_1 + S_n + 2(S_2 + \dots + S_{n-1})) + \sqrt{S_1 S_2} + \dots + \sqrt{S_{n-1} S_n}] \quad (5.65 b)$$

Din relațiile de mai sus se constată că ΔZ este constant, iar ariile suprafețelor sînt variabile. Calculul suprafețelor reprezintă operația cea mai laborioasă și mai pretențioasă, de aceea trebuie să i se acorde toată atenția.

Pentru calculul ariilor fiecărei secțiuni se recomandă folosirea relației:

$$2S = X_{ij}(Y_{ij+1} - Y_{ij-1}) \quad (5.66)$$

care poate fi programată pentru calcul automatizat, sau poate fi determinată prin metode grafice.

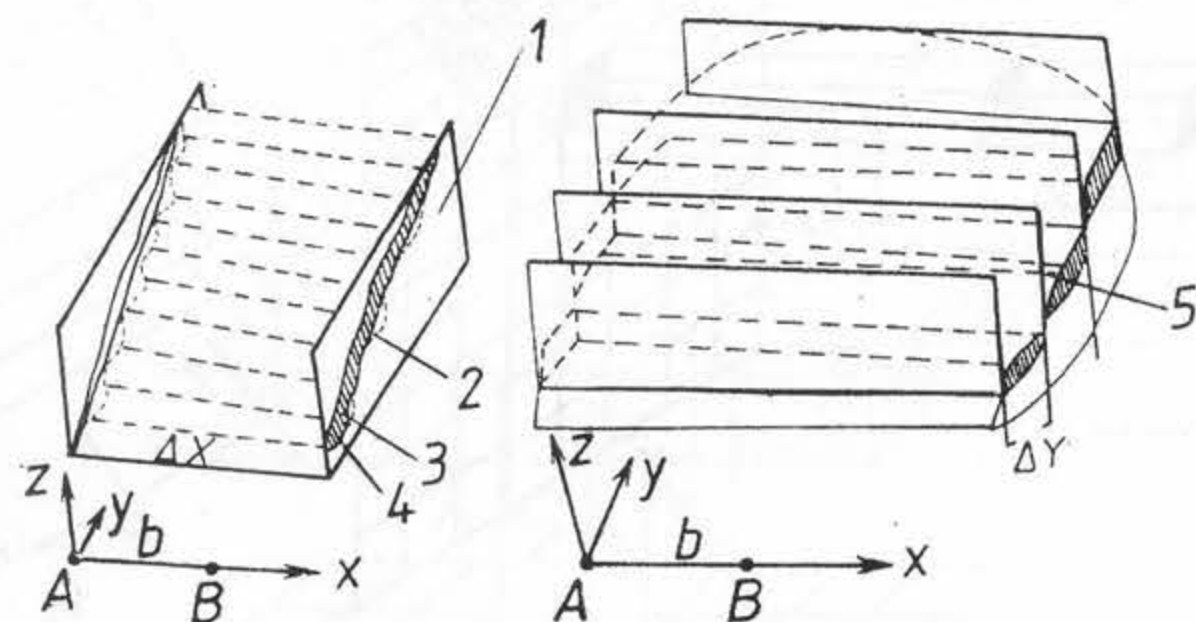


Fig. XV.117. Principiul secțiunilor verticale:

1 — secțiune verticală în planul YZ; 2 — treaptă proiectată; 3 — situația excavației; 4 — teren; 5 — corp exploatat.

Metoda secțiunilor orizontale se aplică în cazul exploatării cu trepte uniforme desfășurate pe lungime. ΔZ poate fi considerat tocmai înălțimea treptei de exploatare.

Procedeul secțiunilor verticale. Aceste secțiuni pot fi perpendiculare pe frontul de lucru (fig. XV.117) și paralele cu frontul de lucru. Procedeul de măsurare și calcul este asemănător cu metoda mai sus amintită, că elementele constante vor fi ΔX pentru planele de secționare perpendiculare pe front sau ΔY pentru planele paralele la front.

$$V_t = \Delta X \frac{[S_1 + S_n + 2(S_2 + \dots + S_{n-1})]}{2} \quad (5.67)$$

$$V_t = \Delta Y \frac{[S_1 + S_n + 2(S_2 + \dots + S_{n-1})]}{2} \quad (5.68)$$

Procedeul secțiunilor are avantajul că permite calculul volumelor separat pe trepte. Ariile și respectiv volumele se pot determina pentru fiecare material în parte, pe util și steril. Volumul excavat se însumează apoi defalcat pe trepte și materiale, după care se însumează obținându-se volumul total.

5.9.2. MĂSURAREA DEPOZITELOR DE STERIL

Măsurarea haldelor de steril constă în urmărirea stabilității acestora, a taluzelor și în determinarea cantității depozitate. Pentru aceasta, pe baza înregistrărilor fotografice periodice se redactează și completează periodic planul topografic la scara 1:1000. Pentru realizarea fotogramelor se stabilește o bază de observație din bază de prelucrare și puncte de reper ce trebuie să îndeplinească condițiile stabilite în § 5.8.1 (fig. XV.118).

Urmărirea stabilității haldei constă în măsurarea unghiurilor de taluz deformate și a influenței haldei asupra terenului înconjurat. Volumul de steril depozitat se stabilește prin metoda rețelei orizontale sau a secțiunilor (§ 5.9.1).

Măsurarea iazurilor de decantare are ca scop determinarea înălțimii acestora, deplasărilor pe orizontală a digurilor iazului și a volumului decantat. În acest sens, din puncte de stație stabile și determinate se efectuează fotograme, prin prelucrarea, cărora se obține planul de situație al iazului de decantare la scara convenabilă 1:1000 (fig. XV.119). Volumul depozitat se determină printr-unul din procedeele cunoscute de calcul a volumelor.

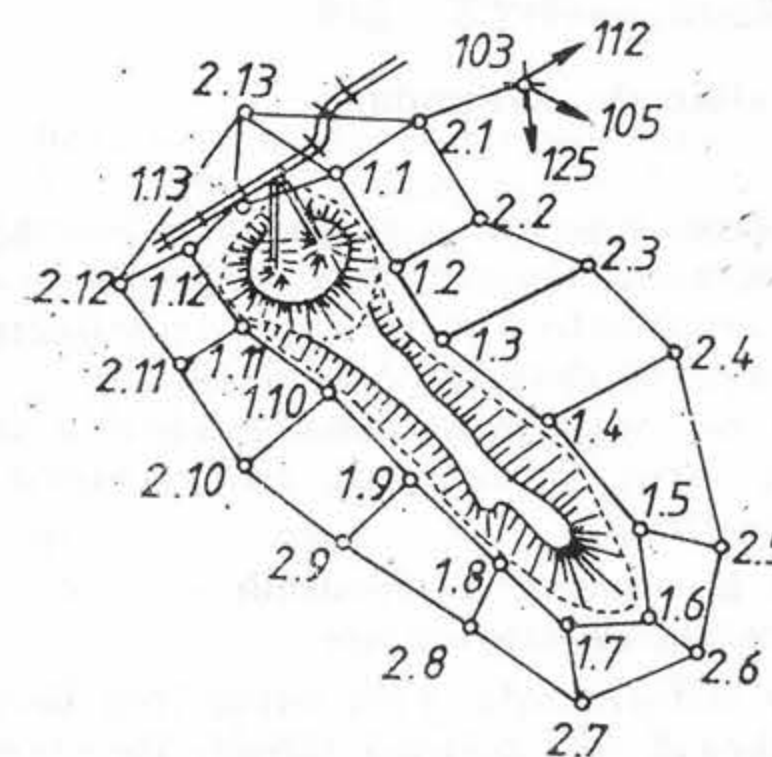


Fig. XV.118. Stația de urmărire a depozitelor de steril.

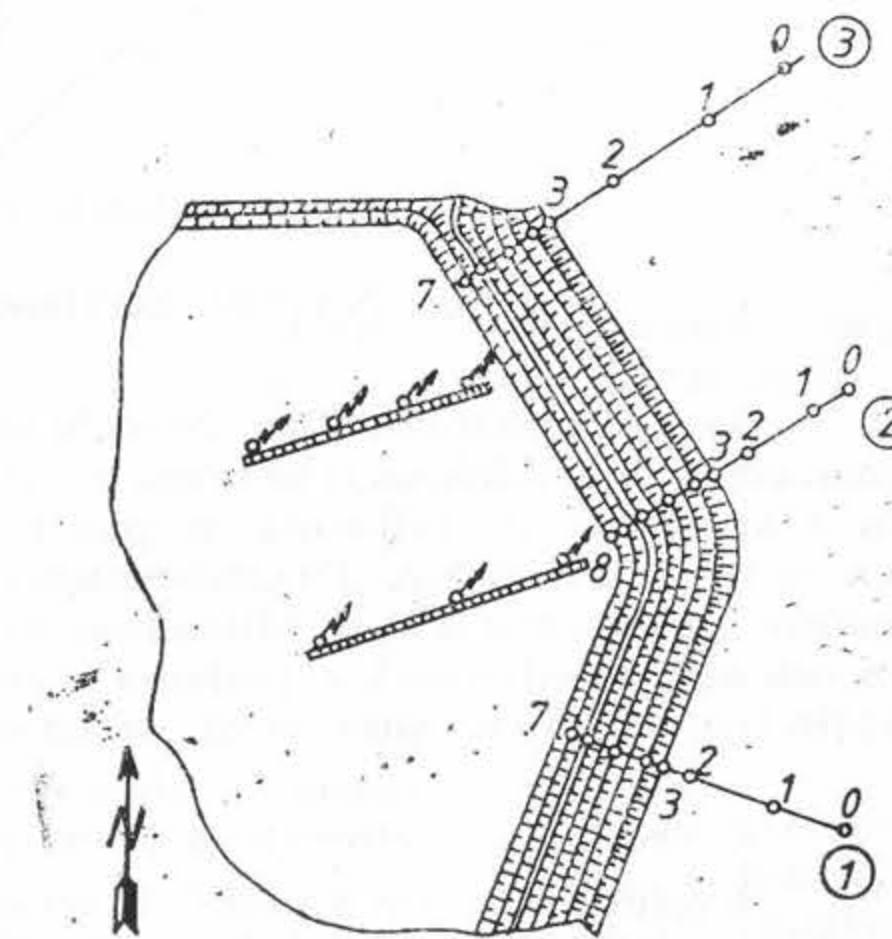


Fig. XV.119. Stația de urmărire a iazurilor de decantare.

Urmărirea periodică a deplasărilor se face prin stații special amenajate, care constau din repere amplasate pe aliniamente, pe digul iazului și continuate până în afară, în teren stabil. Determinarea punctelor de stație și a punctelor de reper se determină prin metode topografice. Bazele de fotografiere trebuie amplasate perpendicular pe aliniament. Pentru reducerea numărului de puncte determinate topografic, un capăt al bazei poate fi considerat reper fix al aliniamentului.

Constatarea deplasării digurilor de decantare se face prin compararea cotelor punctelor reper la fiecare determinare și a distanțelor dintre punctele reper. Reprezentarea acestor deplasări se realizează în planul YZ pentru cote și în plan XY pentru deplasări orizontale.

5.9.3. MĂSURAREA ALBIILOR DE SCUFUNDARE

Scopul măsurării albiilor de scufundare este studierea deplasării rocilor ca urmare a exploatării subterane. Datorită aspectului pe care îl prezintă uneori albiile de scufundare — cu pante mari neuniforme, cu pereți abrupti, crăpături, adinci, urmărirea acestora se poate face numai prin metoda fotogrammetrică (fig. XV.120).

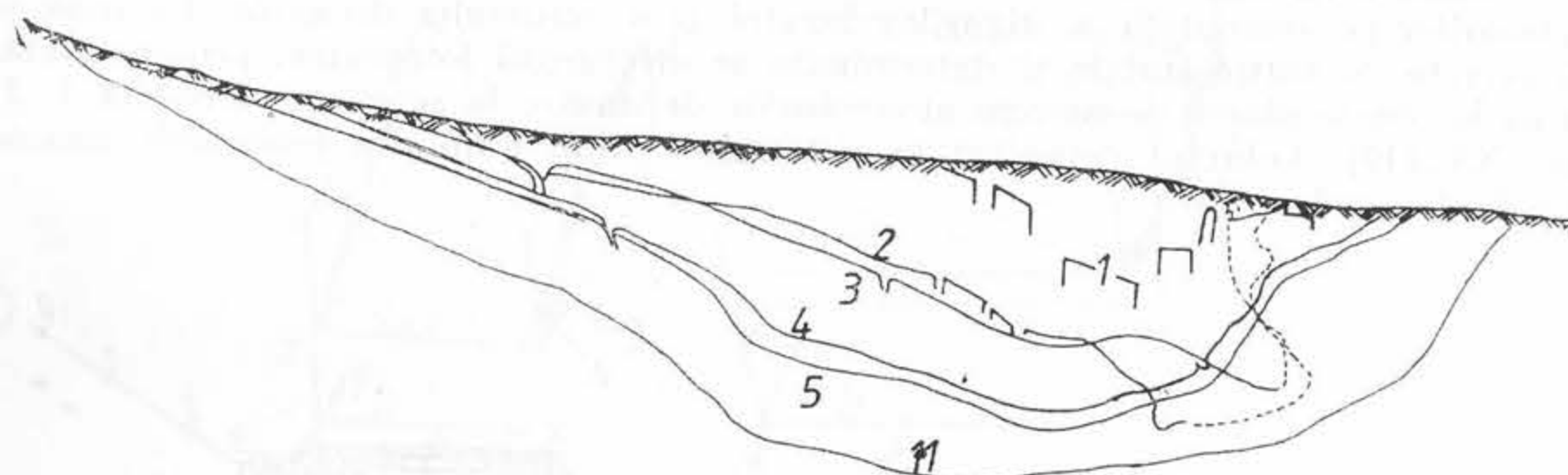


Fig. XV.120. Secțiune printr-o albie de scufundare.

Pentru urmărirea albiei de scufundare este necesar a se fixa o stație de observație care constă în stabilirea și amplasarea bazelor fotogrammetrice în puncte fixe dispuse în afara zonei de influență și puncte de reper amplasate atât în zona de influență cât și în locuri stabile. Punctele stației de observație se determină atât din punct de vedere planimetric cât și altimetric, prin metode ale topografiei clasice, ele folosind la orientarea exterioară a prelucrării fotogramelor. Prin prelucrarea fotogramelor se obțin, pe cale fotogrammetrică, la un aparat de restituție:

- planul de situație al albiei de scufundare la o scară convenabilă;
- secțiuni direcționale și transversale prin albia de scufundare.

Evoluția în timp a albiei de scufundare este determinată prin urmărirea periodică a acesteia. Înregistrările fotografice se efectuează din aceleași puncte de stație, iar punctele de reper fixe se mențin aceleași pe toată durata măsurătorilor.

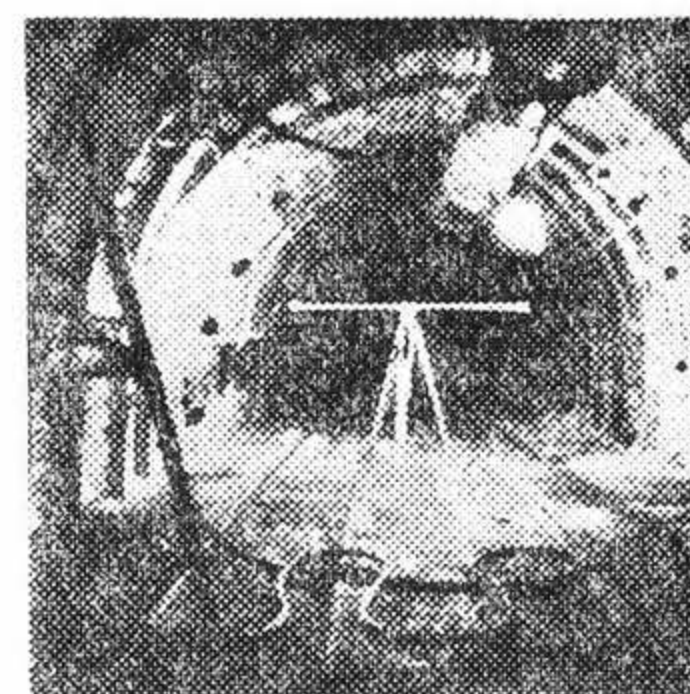
5.9.4. MĂSURĂTORI ÎN SUBTERAN

Folosirea fotogrammetriei în subteran este relativ nouă, fiind utilizată ca procedeu pentru măsurători în cazuri speciale. Din cauza unor dificultăți în iluminarea obiectelor de fotografiat, a spațiilor restrânse și a vizibilității reduse, până în prezent nu s-a dezvoltat pe măsura posibilității ei de aplicare.

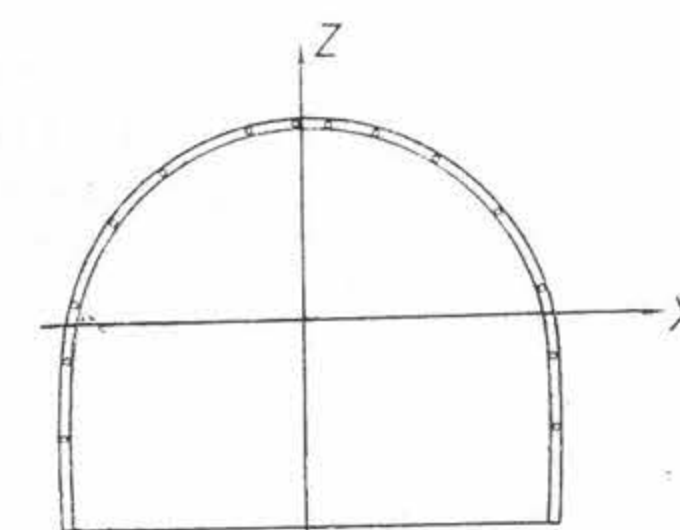
Dezvoltarea sistemelor de înregistrare a imaginilor termice folosind pelicule sensibile în infraroșu, ce pot fotografia în întuneric, va contribui la utilizarea foto-

grammetriei în subteran. De asemenea, introducerea calculatoarelor în preluarea analitică și automată a fotogramelor va dezvolta aplicarea fotogrammetriei în rezolvarea diverselor probleme subterane. În subteran, metodele fotogrammetrice sînt posibile de aplicat ținînd seama de următoarele precauții:

— datorită distanței mici între obiect și obiectiv, preluarea se face cu foto-teodolite universale, cu camere stereometrice cu baza mică sau cu aparate obișnuite etalonate. Fotografierea se face și dintr-un singur punct de stație, cu axa de foto-



a



b

Fig. XV.121. Secțiunea transversală a unei galerii.

gرافیہ orizontală și perpendiculară pe planul obiectului (planul lucrării miniere) sau două puncte de stație, numai în cazul normal al stereofotogrammetriei. Dintre aplicațiile cu rezultate mai spectaculoase reținem:

— măsurarea deformațiilor lucrărilor miniere datorită presiunii rocilor înconjurătoare;

— determinarea secțiunilor transversale ale galeriilor (fig. XV.121).

Măsurarea deformațiilor lucrărilor miniere constă în urmărirea în timp a evoluției fisurilor ce apar pe pereții lucrărilor miniere, ca urmare a presiunii rocilor înconjurătoare. Pentru aceasta este nevoie de amplasarea unor repere martori pe pereții lucrării miniere.

Avînd în vedere că depărtarea Y se menține oarecum constantă, este de preferat fotografierea dintr-un singur punct de stație. Dacă la urmărirea în timp a fisurilor se utilizează metoda măsurării paralaxelor cu baza de timp, precizia de determinare crește simțitor, deoarece se reduc măsurătorile de coordonate fotogrammetrice, rămînînd doar cercarea de măsurare a paralaxei. Restituția se face analogic sau grafic, pe planul XZ determinîndu-se deschiderea fisurii, lungimea și poziția ei.

XVI. MECANICA ROCILOR

Conf. dr. ing. CORNEL HIRIAN

Conf. dr. ing. GHEORGHE ONCIOIU

Şef lucrări dr. ing. ADRIAN TODORESCU



1. BAZELE TEORETICE ALE MECANICII ROCILOR

1.1. DEFINIȚII ȘI CONCEPTE DE BAZĂ

Un masiv de rocă este supus acțiunii a două tipuri de forțe: 1) *exterioare* și 2) *interioare*. Acțiunea forțelor exterioare asupra masivului sau orice modificare naturală, respectiv artificială, realizată în structura acestuia, care atrage după sine modificarea forțelor interioare, a pozițiilor și distanțelor dintre diferitele puncte ale lui, are drept rezultat crearea unei stări de *tensiune-deformare*. A determina o asemenea stare înseamnă a evalua în fiecare punct al masivului creșterea valorică a forțelor interioare și a deplasărilor punctelor în spațiu. Raportarea forțelor interioare la unitatea de suprafață constituie noțiunea de *tensiune*, adică:

$$p = \sigma_n = \frac{dF_i}{dA} \quad (1.1)$$

iar raportarea deplasărilor la unitatea de lungime constituie noțiunea de *deformație*:

$$\varepsilon = \frac{d\delta}{dl} \quad (1.2)$$

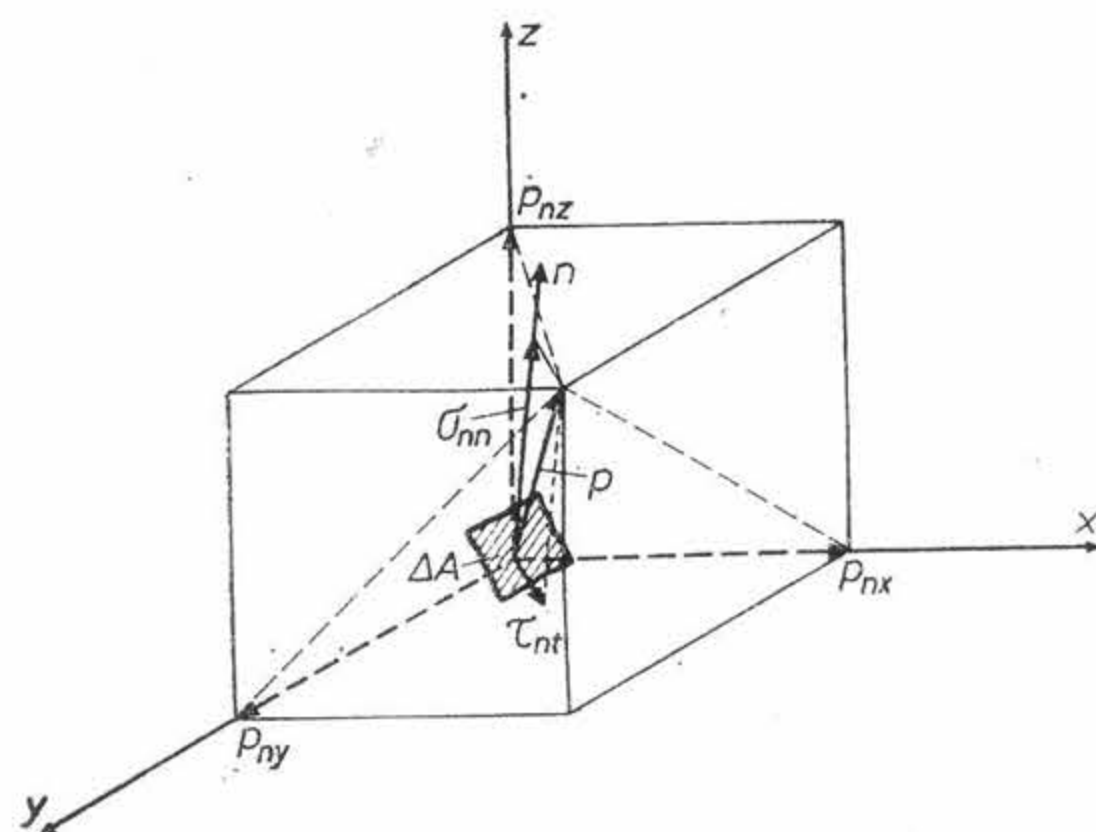


Fig. XVI.1. Definirea noțiunii de tensiune și componentele normală și de forfecare.

unde: δ — poate fi: u ; v sau w . Unitatea de măsură, conform analizei dimensionale $L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$ în SI a tensiunii este N/m^2 sau Pa, iar deformația este adimensională. Tensiunea p are două componente (fig. XVI.1) reciproc perpendiculare, una normală

σ_{nn} ce acționează după direcția normalei n și una tangențială τ_{nt} situată în planul de secționare. Trei suprafețe reciproc perpendiculare caracterizează un volum elementar și ca urmare starea de tensiune respectiv de deformare a acestuia (fig. XVI.2), sau

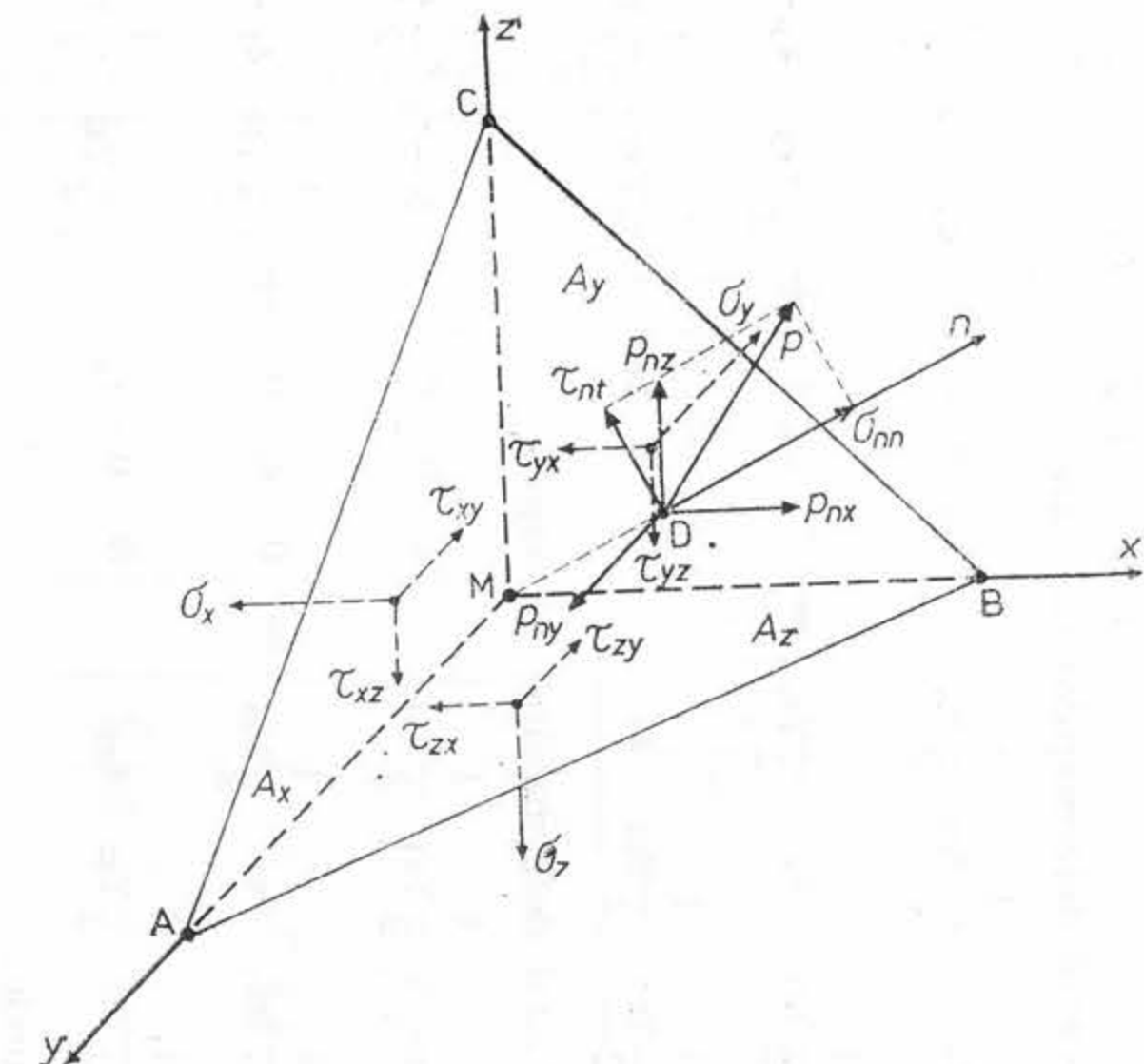


Fig. XVI.2. Starea de tensiune într-un punct.

a unui punct M , poate fi determinată de 9 componente ale tensiunilor ori a deformațiilor, care conform principiului dualității se reduc la 6. Analiza stării de tensiune sau de deformare poate fi făcută fie pe cale analitică, fie pe cale grafică.

1.1.1. ANALIZA STĂRII DE TENSIUNE SAU DE DEFORMARE PE CALE ANALITICĂ

Totalitatea tensiunilor normale și tangențiale ce corespund secțiunilor duse prin punctul M (fig. XVI.2) caracterizează starea de tensiune din jurul acestui punct. Analitic ea este definită pe deplin dacă se cunoaște tensorul tensiunii $|T_\sigma|$. Ansamblul componentelor stării de tensiune într-un punct, redată matricial, formează un tensor de ordinul II simetric — *tensorul total al stării de tensiune* — $|T_\sigma|$ a cărui expresie este redată în tabelul XVI.1. Dacă $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ este starea de tensiune din M , atunci pe orice suprafață va acționa numai o tensiune normală σ_0 , iar $\sigma_{ijk} = 0$. Tensorul corespunzător acestui caz se numește *tensor sferic* al tensiunii $|T_{\sigma_0}|$ (tabelul XVI.1) și corespunde sării prin care se poate realiza schimbarea volumului fără modificarea formei. Starea de tensiune prin care se poate schimba forma, exprimată matricial, se numește *deviatorul stării de tensiune*: $|D_\sigma| = |T_\sigma| - |T_{\sigma_0}|$. Deci o stare de tensiune este definită de o expresie de forma:

$$|T_\sigma| = |T_{\sigma_0}| + |D_\sigma| \quad (1.3)$$

Expresiile tensorilor de tensiune și de deformare

Tensorul total al stării de tensiune			Tensorul total al stării de deformare		
$ T_{\sigma} = T_{\sigma 0} + D_{\sigma} $			$ T_{\varepsilon} = T_{\varepsilon 0} + D_{\varepsilon} $		
Cazul eforturilor oarecare:			Cazul deformațiilor oarecare:		
σ_x	τ_{yx}	τ_{zx}	ε_x	$\frac{1}{2}\gamma_{yx}$	$\frac{1}{2}\gamma_{zx}$
τ_{xy}	σ_y	τ_{zy}	$\frac{1}{2}\gamma_{xy}$	ε_y	$\frac{1}{2}\gamma_{zy}$
τ_{xz}	τ_{yz}	σ_z	$\frac{1}{2}\gamma_{xz}$	$\frac{1}{2}\gamma_{yz}$	ε_z
Cazul eforturilor principale:			Cazul deformațiilor principale:		
σ_{11}	τ_{21}	τ_{31}	ε_{11}	$\frac{1}{2}\gamma_{21}$	$\frac{1}{2}\gamma_{31}$
τ_{12}	σ_{22}	τ_{32}	$\frac{1}{2}\gamma_{12}$	ε_{22}	$\frac{1}{2}\gamma_{32}$
τ_{13}	τ_{23}	σ_{33}	$\frac{1}{2}\gamma_{13}$	$\frac{1}{2}\gamma_{23}$	ε_{33}
unde:			unde:		
$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$			$\varepsilon_m = \frac{1}{3}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$		
$\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$			$\varepsilon_0 = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$		

explicitată în tabelul XVI.1. În funcție de modelul mediului continuu (dens), pentru determinarea stării de tensiune-deformare a unui masiv de rocă există un sistem format din 9 ecuații (în coordonate carteziane sau polare) (tabelul XVI.2), independente (ecua-

Tabelul XVI.2

Sistemul de ecuații pentru determinarea stării de tensiune-deformare

Ecuațiile de echilibru	
Dinamic	Static
$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \gamma_a X = \gamma_a \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \gamma_a X = 0$
$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \gamma_a Y = \gamma_a \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \gamma_a Y = 0$
$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \gamma_a Z = \gamma_a \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \gamma_a Z = 0$
$\tau_{xy} = \tau_{yx}$ $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ $\tau_{zx} = \tau_{xz}$	
Ecuațiile de compatibilitate	
Prima grupă	A doua grupă
$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2}$	$2 \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left[-\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} \right]$
$\frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z} = \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2}$	$2 \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right]$
$\frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x} = \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2}$	$2 \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial z \partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left[-\frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} \right]$

țiile lui Cauchy, ecuațiile de echilibru, ecuațiile de continuitate sau condițiile lui Saint-Venant) cu 15 necunoscute: σ_x ; σ_y ; σ_z ; τ_{xy} ; τ_{yz} ; τ_{zx} ; ε_x ; ε_y ; ε_z ; γ_{xy} ; γ_{yz} ; γ_{zx} ; u ; v ; w , adică static nedeterminat. Ridicarea nedeterminării se realizează prin introducerea ecuațiilor fizice de stare, caracteristice fiecărui model considerat. Asemenea ecuații unesc, prin corelații bine definite, tensiunile și deformațiile numindu-se *legi fizice constitutive*. În funcție de tipul legăturii σ - ε se deosebesc următoarele stări de bază tensiune-deformare: elastică, plastică, viscoasă și combinații ale acestora.

1.1.2. ANALIZA STĂRII DE TENSIUNE SAU DE DEFORMARE PE CALE GRAFICĂ

Un asemenea deziderat se poate realiza prin intermediul cercurilor lui Mohr, a căror ecuații sînt de forma: $y^2 + (x - x_0)^2 = r^2$, adică:

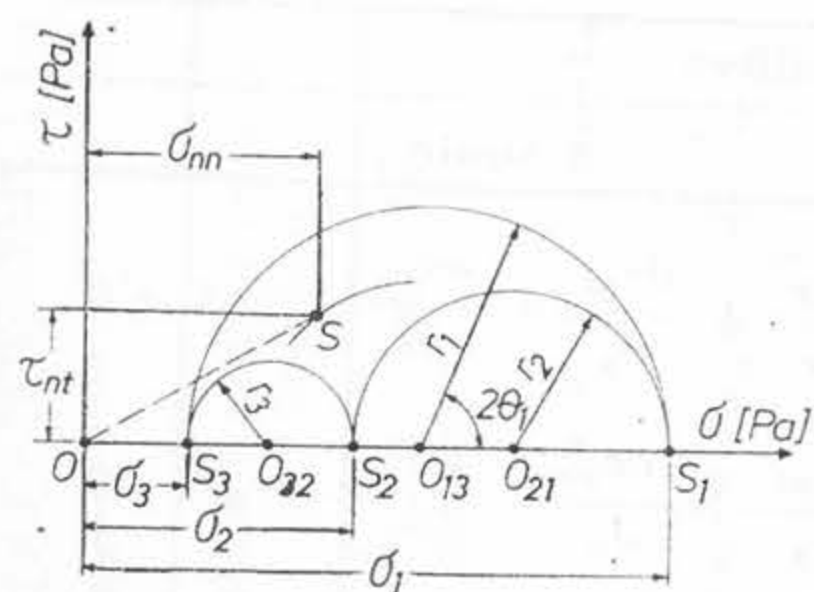


Fig. XVI.3. Cercul lui Mohr.

cu centrele pe axa σ , la distanțele OO_1 ; OO_2 ; OO_3 , și razele r_1 ; r_2 ; r_3 (fig. XVI.3). Deci locul geometric al punctelor S_i ce reprezintă stări de eforturi obținute prin variația continuă a unghiului θ este un cerc denumit *cercul lui Mohr* și a cărui ecuație se stabilește funcție de starea de tensiune în care ne situăm: triaxială, plană, liniară. Cercul lui Mohr, este o tehnică de calcul și nu o reprezentare fizică a unei stări de tensiune sau de deformare.

1.2. ELEMENTE DE TEORIA TENSIUNILOR ȘI A DEFORMAȚIILOR ÎN MEDII ELASTICE

Mediile elastice se caracterizează prin cel mai simplu tip de corelație $\sigma - \varepsilon$ și anume *legătura elastică* sau *modelul elastic* de comportare a masivului omogen și izotrop. Ecuația constitutivă în contextul precizat este legea generalizată a elasticității — *legea lui Hooke* — de forma:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] & \gamma_{xy} &= \frac{1}{G} \tau_{xy} \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)] & \gamma_{yz} &= \frac{1}{G} \tau_{yz} \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] & \gamma_{zx} &= \frac{1}{G} \tau_{zx} \end{aligned} \quad (1.5)$$

Din punct de vedere practic, de mare interes pentru activitatea minieră sînt cazurile particulare ale stării de tensiune-deformare spațiale și anume *starea plană și liniară*. Starea plană apare cînd $\sigma_z = 0$ și $\tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$, adică tensorul de tensiune devine:

$$[T_\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

iar legea constitutivă redată matricial are forma: $\{T_\sigma\} = [A] \{T_\varepsilon\}$ sau explicitată

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & 0 \\ \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & \frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\mu)} \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

1.3. PLASTICITATEA. ELEMENTE DE TEORIA TENSIUNILOR ȘI A DEFORMAȚIILOR ÎN MEDII PLASTICE. CONDIȚII DE PLASTICITATE

Comportamentul plastic este proprietatea pe care o au corpurile solide de a suferi deformări permanente fără a-și pierde coeziunea după încetarea forțelor exterioare care le-au creat deformarea (fig. XVI.4). Din punct de vedere practic, noțiunea de plasticitate se leagă de stadiul stării de tensiune. Se admite ca limită de plasticitate efortul corespunzător unor deformări $\varepsilon_r = 0,03\%$. Noțiunea de *plasticitate* permite stabilirea unor legi cu ajutorul cărora se pot realiza o serie de probleme în care au loc deformări complexe, neliniare.

Starea plastică a rocii care poate să survină imediat după starea elastică exprimată printr-o funcție de tensiune (f) este denumită *condiție de plasticitate*. Forma generală a acestei funcții este exprimată prin o serie de relații ca:

$$f(J_1; J_2; J_3) = 0 \text{ sau } f = \sigma - \psi(\alpha_k) \quad (1.8)$$

În decursul timpului s-a ajuns la o îngustare a generalității și la apariția mai multor relații sau condiții de plasticitate. Astăzi se utilizează următoarele forme ale funcției (f), relația (1.8):

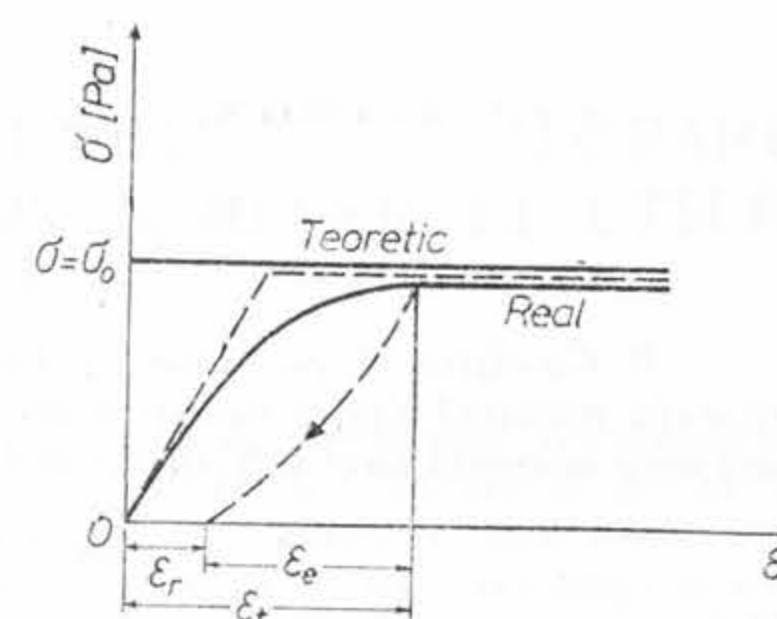


Fig. XVI.4. Comportament plastic.

1) Condiția de plasticitate Huber-Von Mises — Henky, sub forma :

$$f = J_2 - \psi(\alpha_k) = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 - 2\sigma_e = 0 \quad (1.9)$$

În cazul monoaxial, pentru o sollicitare la tracțiune : cînd $\sigma_1 = \sigma_e$; $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, condiția devine :

$$\frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_e = k \quad (1.10)$$

iar pentru o sollicitare la forfecare : cînd $\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau_e$; $\sigma_2 = 0$, condiția devine $\tau_e = k$. Deci putem scrie că :

$$k = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} = \tau_e \quad (1.11)$$

Această condiție descrie foarte bine comportamentul argilelor saturate și nedrenate.

2) Condiția de plasticitate Saint-Venant — Tresca exprimă funcția (f) sub forma :

$$f = \sup [(\sigma_i - \sigma_j) - \psi(\alpha_k)] \quad (1.12)$$

dacă :

$$\max |\tau_n|_{ij} = \frac{1}{2} (\sigma_i - \sigma_j) \quad (1.13)$$

atunci relația (1.12) devine :

$$\{|\tau_n|\}_{\max} = k \quad (1.14)$$

adică roca trece în stare plastică atunci cînd tensiunea tangențială maximă atinge o anumită valoare critică independentă de felul stării de tensiune. Monoaxial, condiția devine :

— pentru tracțiune :

$$\frac{1}{2} \sigma_e = k$$

— pentru forfecare $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_e$ sau $\tau_e = k$. Deci putem scrie că :

$$k = \frac{\sigma_e}{2} = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) = \tau_e \quad (1.15)$$

3) Condiția de plasticitate a lui Mohr presupune că în cazul stării plastice a rocii diferența maximă dintre valoarea absolută a tensiunii tangențiale și o anumită funcție de tensiunea normală care acționează după aceeași suprafață este zero, adică :

$$\max \{|\tau_n|\} - f(|\sigma_n|) = 0 \quad (1.16)$$

sau :

$$f = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) - F_1 \left[\frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_3) \right] = 0 \quad (1.17)$$

unde funcția F_1 depinde de σ_1 , σ_3 , φ , adică caracterizează proprietățile mecanice ale rocii. În plan se reprezintă sub forma unei curbe înfășurătoare (fig. XVI.5), ca și curbă limită. Condițiile considerate nu includ însă efectul tensiunii principale intermediare σ_2 .

4) Condiția de plasticitate a lui Druker-Prager generalizează criteriul de plasticitate sub forma unei legi de curgere de tipul :

$$f = \alpha \cdot J_1 - \sqrt{J_2} - k = 0 \quad (1.18)$$

sau :

$$f = \alpha(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) + \left\{ \frac{1}{6} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 \right\}^{1/2} - k = 0 \quad (1.19)$$

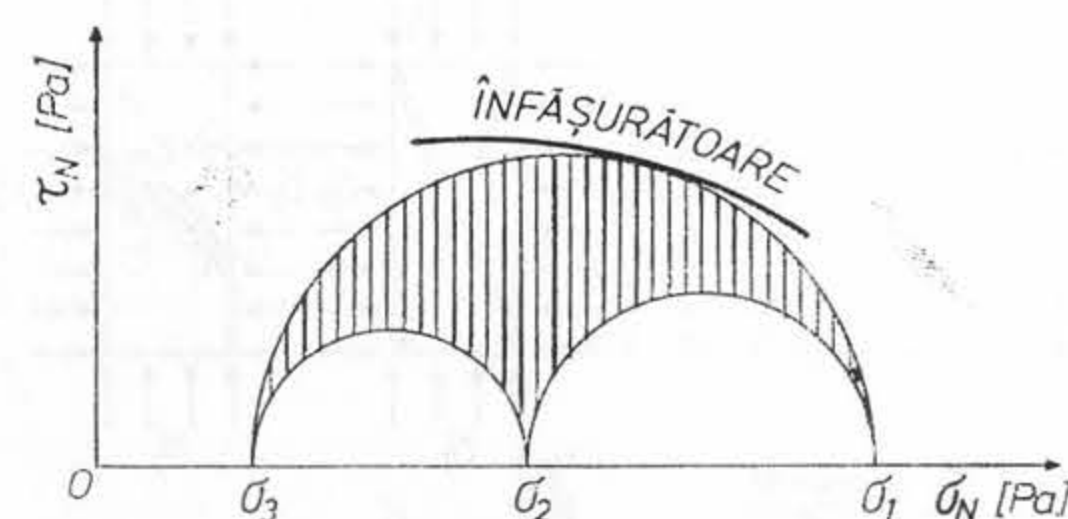


Fig. XVI.5. Curba înfășurătoare — curbă limită.

unde α și k sînt constante pozitive date de expresiile :

$$\alpha = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{(9 + 12 \operatorname{tg}^2 \varphi)^{1/2}} \quad k = \frac{3C}{(9 + 12 \operatorname{tg}^2 \varphi)^{1/2}} \quad (1.20)$$

1.4. MECANISMUL DE REZISTENȚĂ ȘI FRACTURARE A ROCILOR ȘI SUBSTANȚELOR MINERALE UTILE. IPOTEZE DE RUPERE

Odată cu creșterea sollicitării $\sigma_i > \sigma_e$ în rocă se produc modificări ireversibile, comportamentul este neliniar-neelastic, iar starea de echilibru din interiorul masei de roci se modifică atât de mult încît apare pericolul de rupere, moment în care rezistența și stabilitatea acesteia începe să se diminueze din ce în ce mai mult, pînă sînt compromise. Pe o curbă caracteristică $\sigma - \varepsilon$, pragul de la care este posibilă apariția ruperii este definit fie de punctul (d) în cazul rocilor casante, fie de punctul (e) în cazul rocilor ductile (fig. XVI.6). Un asemenea prag poate fi denumit *limită de rupere* sau *de curgere*. O serie de ipoteze sub forma unor criterii încearcă evidențierea și stabilirea unui astfel de prag. Criteriul lui Coulomb sugerează că la ruperea prin forfecare a rocilor, efortului tangențial τ_n , care tinde să producă ruperea după un plan oarecare, i se opun coeziunea c și efortul normal σ_n multiplicat cu tangenta unghiului de frecare interioară : $\tau_n = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Considerind

cazul solicitării triaxiale cilindrice: $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ (fig. XVI.7), și cu ajutorul *cercului lui Mohr* condiția de rupere devine:

$$\tau_N = r \cdot \sin 2\beta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\beta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos \varphi. \quad (1.21)$$

$$\sigma_N = \overline{OO_1} - r \cos 2\beta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \varphi.$$

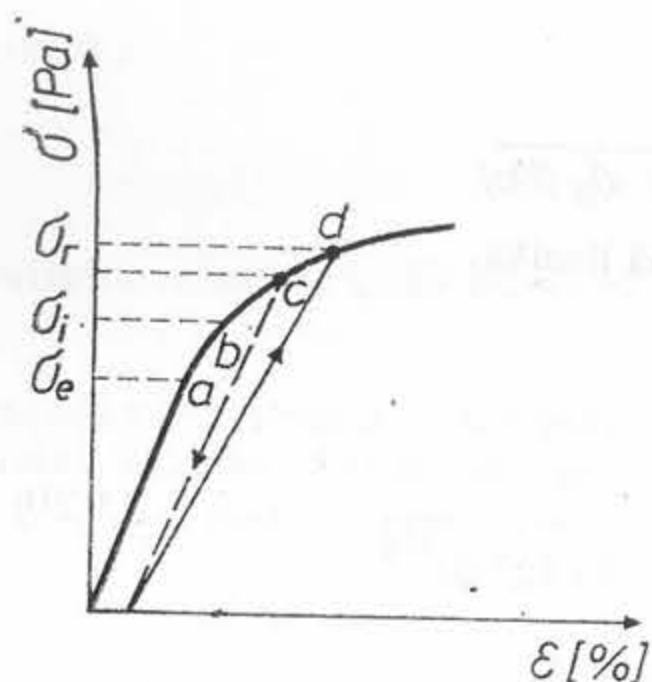


Fig. XVI.6. Curba caracteristică tensiune-deformare.

expresii care, înlocuite în relația inițială a lui *Coulomb*, ne conduc la relația:

$$\sigma_1 = \frac{2c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} + \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3 \quad (1.22)$$

sau:

$$\sigma_1 = Q + j \sigma_3 \quad (1.23)$$

în care: Q este rezistența de rupere la compresiune monoaxială;

j — coeficient funcție de valoarea unghiului de frecare interioară;

$$Q = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad j = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \frac{1}{i} \quad (1.24)$$

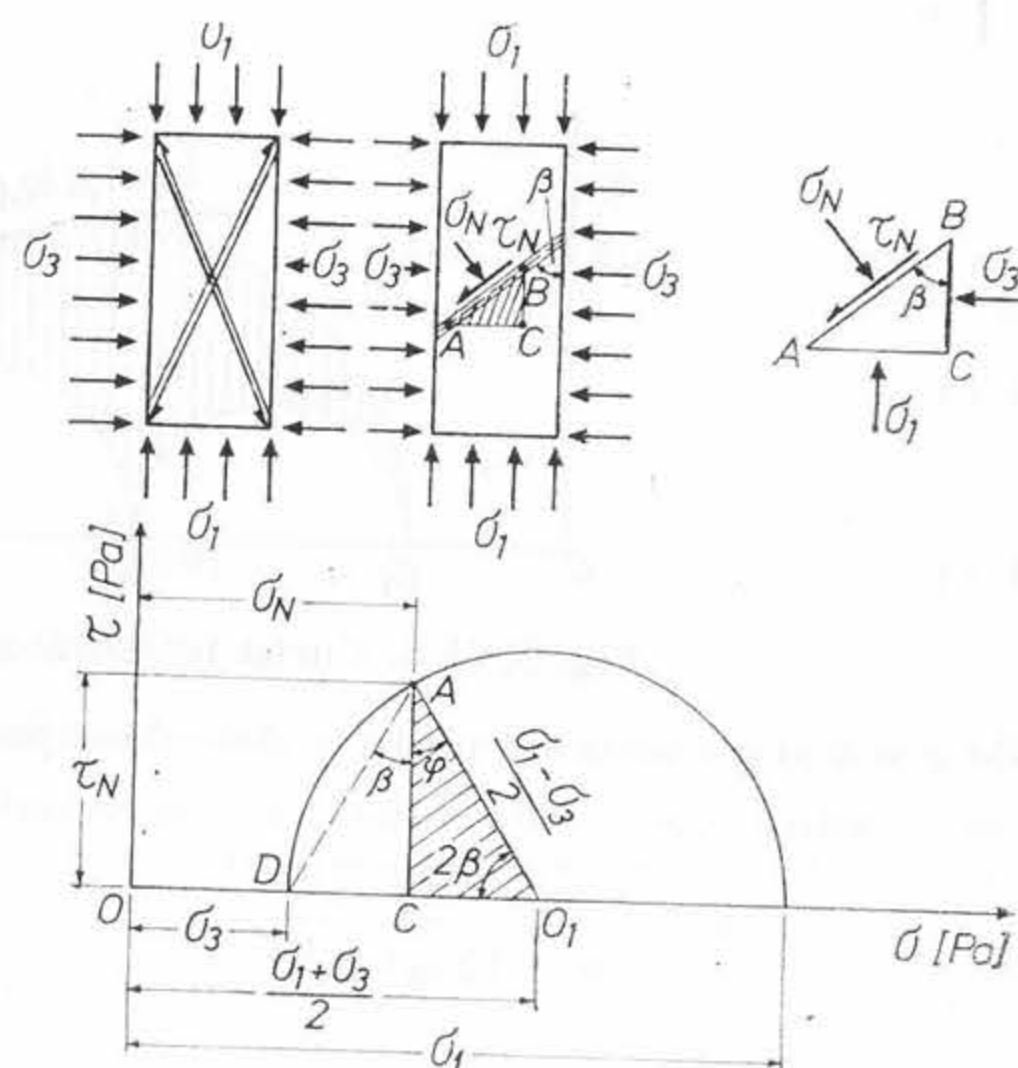


Fig. XVI.7. Cercul lui Mohr în solicitare triaxial-cilindrică.

Criteriul de rupere devine:

$$\sigma_1 \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) - \sigma_3 \left(\frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) = 2c \quad (1.25)$$

și este o linie dreaptă MNT în planul eforturilor σ_1, σ_3 , care taie axa σ_1 în punctul N , iar axa σ_3 în punctul M (fig. XVI.8).

$$\overline{ON} = 2c \left(\frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi} \right); \quad \overline{OM} = 2c \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \quad (1.26)$$

Dacă cantitatea ON este rezistența de rupere la compresiune, totuși cantitatea OM nu reprezintă rezistența de rupere la tracțiune (cum se afirmă de fapt), deoarece condițiile fizice limitează criteriul la o porțiune din MNT , adică GNT și deci $OM_1 = \sigma_t$. În reprezentarea cu ajutorul *cercului lui Mohr*, criteriul devine $\tau_m = c \cdot \cos \varphi + \sigma_m \cdot \sin \varphi$ și care în planul τ_m, σ_m este o linie dreaptă (fig. XVI.9). Ruperea se produce dacă *cercul lui*

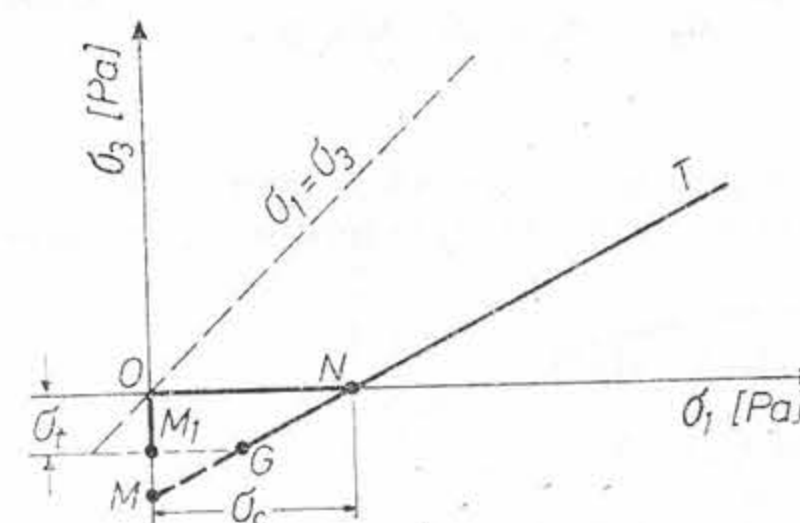


Fig. XVI.8. Criteriul de rupere.

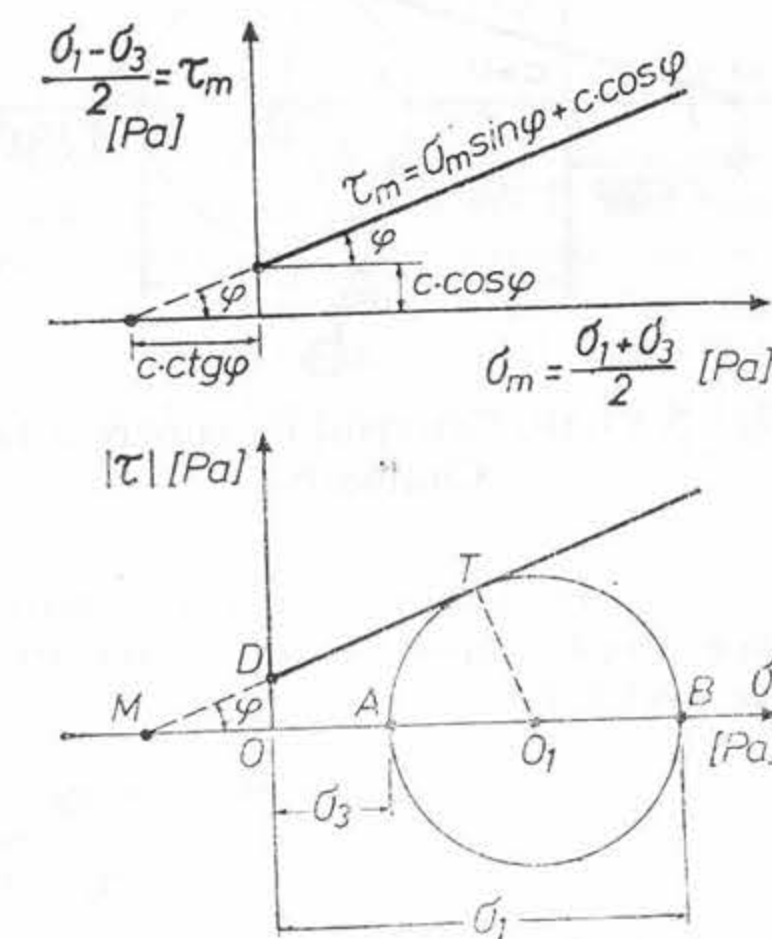


Fig. XVI.9. Reprezentarea cu ajutorul cercului lui Mohr a criteriului de rupere a lui Coulomb.

Mohr atinge cu diametrul linia MDT , adică:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \left[c \operatorname{ctg} \varphi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right] \sin \varphi. \quad (1.27)$$

Un asemenea criteriu se aplică în cazul rocilor fără coeziune (clastice), cu coeziune mică (rocile argiloase) și în cazul acelor roci care nu manifestă ruperi preferențiale la forfecare pe anumite direcții. Astfel:

— în cazul rocilor elastice ($c = 0$), (fig. XVI. 10, a) criteriul este o linie dreaptă ce trece prin originea sistemului de axe (τ ; σ) și deci $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Ruperea se produce când cercul lui Mohr este tangent la această dreaptă, condiția limită fiind:

$$\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} \geq \frac{\overline{OO_1} - \overline{O_1A}}{\overline{OO_1} + \overline{O_1B}} = \frac{\overline{OO_1} - r}{\overline{OO_1} + r} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = i \quad (1.28)$$

$$\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \geq i = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right);$$

— în cazul rocilor cu coeziune, ($c \neq 0$), (fig. XVI. 10, b) condiția devine:

$$\frac{\sigma_3 + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{\sigma_1 + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} \geq \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}; \text{ sau } \sin \varphi \geq \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} \quad (1.29)$$

iar

— în cazul unui masiv stratificat și condiții hidrogeologice evidente, ruperea se produce după plane de alunecare înclinate cu un unghi față de tensiunile principale (fig. XVI. 11):

$$\sigma = -\sigma_z \cos \beta \cdot \cos \beta - \sigma_x \sin \beta \cdot \sin \beta.$$

$$\tau = -\sigma_z \cos \beta \cdot \sin \beta + \sigma_x \sin \beta \cos \beta.$$

care introduse în $\tau \leq c + (\sigma - u_1) \cdot \operatorname{tg} \varphi$, ne conduc la condiția:

$$\sigma_z \cos \beta \cdot \sin (\varphi - \beta) + \sigma_x \sin \beta \cdot \cos (\varphi - \beta) + c \cdot \cos \varphi - u_1 \sin \varphi > 0 \quad (1.30)$$

sau când $c = 0$ și $u_1 = 0$ la condiția:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_z} = -\frac{\operatorname{tg} (\varphi - \beta)}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\operatorname{tg} (\beta - \varphi)}{\operatorname{tg} \beta} \quad (1.31)$$

Utilizarea acestei relații în cazul unei lucrări miniere executate în masiv stratificat (caracterizat de: $\sigma_z = 2 \text{ [MPa]}$; $\beta = 50^\circ$; $\varphi = 40^\circ$; $u_1 = 0$ și $c = 0$), (fig. XVI. 11), stabilește

valoarea efortului lateral necesar pentru menținerea stabilității ca fiind de: $\sigma_x = \sigma_y = 0,2 \text{ [MPa]}$. Criteriul lui Mohr presupune că ruperea se produce în momentul în care se îndeplinește condiția de plasticitate, relația (1.16). O asemenea expresie poate fi reprezentată grafic printr-o curbă — înfășurătoare — fie de tip parabolic, fie cicloidă, fie chiar sub forma unei drepte. Curba dată de expresia (1.16) nu este gândită pentru a fi obținută de o ecuație explicită, ci presupune că se obține experimental ca înfășurătoare a cercurilor lui Mohr, corespunzătoare ruperii în condiții diferite. Pentru acest motiv a fost denumită înfășurătoare lui Mohr (fig. XVI. 12). În cazul stării de tensiune σ_1 ; σ_2 ; σ_3 , (condiția $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) ruperea se va produce atunci când cercul cu diametrul $\sigma_1 - \sigma_3$ devine tangent la curba intrinsecă \widehat{AB} . O asemenea constatare permite evidențierea a două concluzii: (1) valoarea efortului principal intermediar σ_2 , după Mohr, nu afectează ruperea și (2), planul de rupere trece prin direcția efortului principal intermediar și normala la el face unghiul β cu

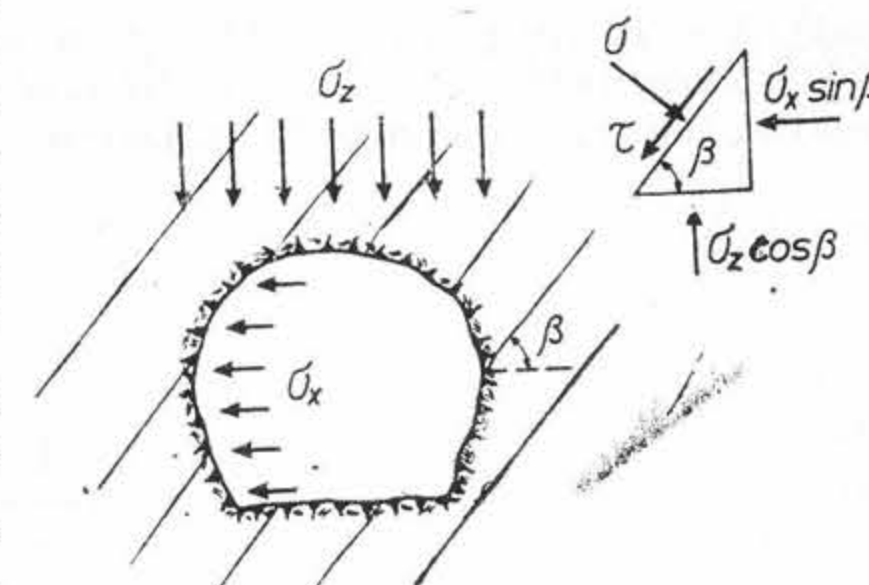


Fig. XVI.11. Producerea ruperii după plane de alunecare înclinate a unui masiv stratificat.

direcțiile lui σ , iar 2β este unghiul $\widehat{TO_1\sigma}$ dintre normala la curbă și axa $O\sigma$. Experimental s-a constatat că: (1) normala la înfășurătoare Mohr determină direcția de rupere; (2) înfășurătoare este de obicei concavă, astfel că cu cât valoarea medie a efortului crește, planul de rupere devine înclinat cu un unghi mai mare față de direcția lui σ_1 . Curba înfășurătoare crește continuu cu σ_3 , astfel încât se va deschide spre dreapta. Asemenea constatări sînt adevărate numai pentru încercări poliaxiale axiale simetrice. În contextul ruperii trebuie luată în considerare și influența efortului principal intermediar. În funcție de tipul geometric al înfășurătorilor se pot distinge o serie de

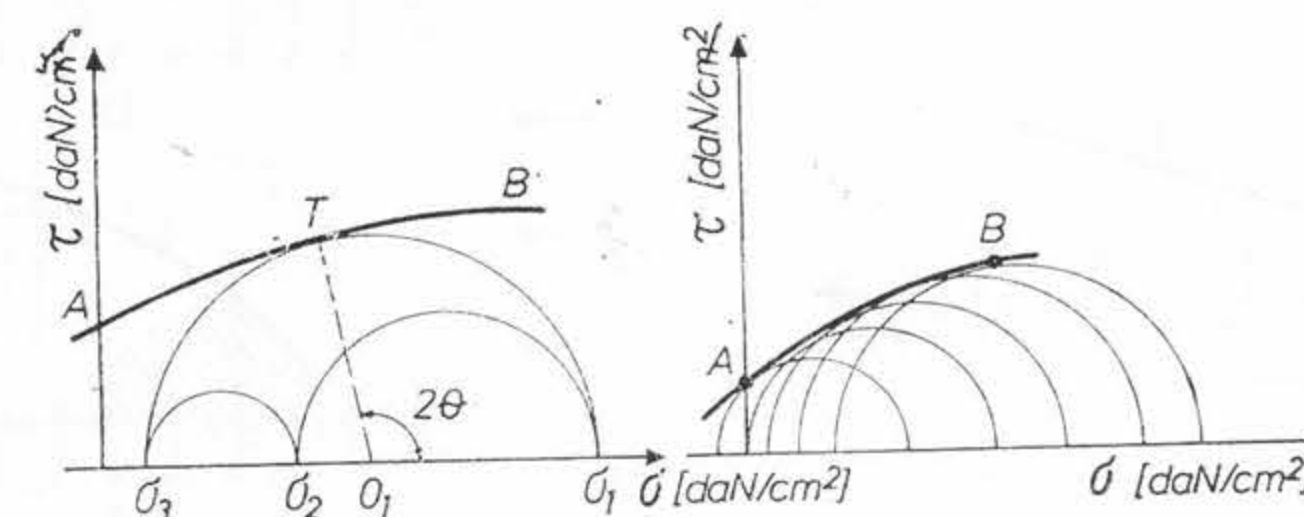


Fig. XVI.12. Înfășurătoare lui Mohr.

cazuri: cazul înfășurătorii de tip liniar, cunoscut și sub denumirea de criteriul Coulomb-Mohr, este redat analitic prin relația:

$$\sin \angle AO_1T = \frac{\overline{O_1T}}{\overline{AO_1}} = \frac{\tau_m}{\sigma_m + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} = \sin \varphi \quad (1.32)$$

conform fig. XVI.13 și, ca urmare, ecuația înfășurătorii liniare este deci : $\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$. Expresia care redă spațial (sub forma unui con) criteriul lui Coulomb-Mohr este de forma :

$$(k + \sigma_{oct}) \cdot \operatorname{tg} \gamma - \tau_{oct} = 0 \quad (1.33)$$

unde : $k = c \cdot \operatorname{ctg} \varphi$, iar $\gamma = 45 - j$, în care $j = (1 + \sin \varphi) / (1 - \sin \varphi)$.

Cazul înfășurătorii de tip cicloidal este redat printr-o serie de relații. De exemplu, pentru cărbuni se recomandă utilizarea ecuațiilor cicloidei de forma :

$$\sigma + \sigma_t = \frac{1}{2} k(4\psi - \sin 4\psi) \quad (1.34)$$

$$\tau = \frac{1}{2} k(1 - \cos 4\psi)$$

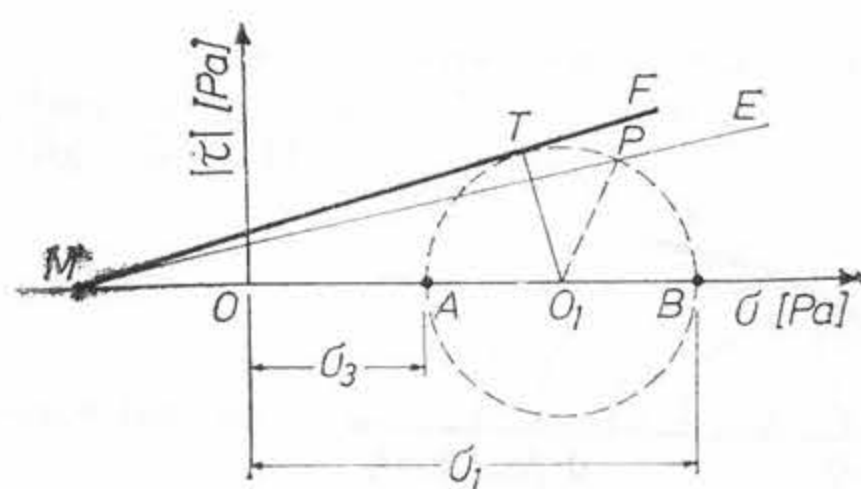


Fig. XVI.13. Cazul înfășurătorii de tip liniar.

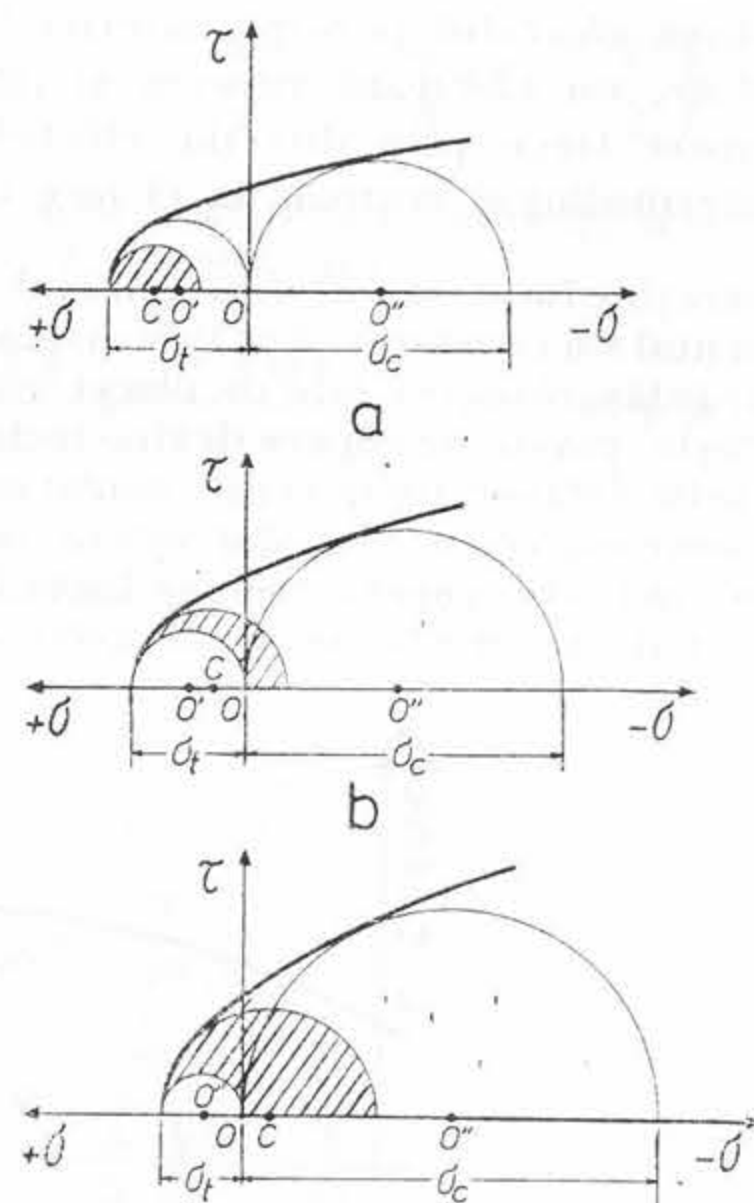


Fig. XVI.14. Cazul înfășurătorii de tip parabolic :

$$k = \frac{\sigma_t - c \operatorname{ctg} \varphi}{\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - \operatorname{ctg} \varphi} \quad (1.35)$$

unde k este raza cercului osculator de vîrf al cicloidei, dat de relația :

Cazul înfășurătorii de tip parabolic, a cărei ecuație este de forma :

$$\tau = (c - \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi)^{\frac{1}{2}} \quad (1.36)$$

a permis, pentru roci, funcție de poziția centrului cercului osculator de vîrf al parabolei, diversificarea a trei comportamente de deformare :

$$\tau = 0; \quad \sigma = \sigma_t \left[1 - \sqrt{1+j} + \frac{1}{2} j \right] \quad (1.37)$$

(1), comportament plastic, cînd $j < 3$, (fig. XVI.14, a); (2) comportament elastoplastic, cînd $3 < j < 5$, (fig. XVI.14, b); (3) comportament elastic, cînd $j > 5$, (fig. XVI.14, c).

Criteriul lui Griffith pleacă de la realitatea că roca este neomogenă, neomogenitate materializată prin prezența microfisurilor și a fisurilor în structura ei. Prezența microfisurilor are drept efect concentrări de tensiune pe conturul lor. Griffith a presupus microfisuri de formă eliptică (fig. XVI.15) și a stabilit criteriul de rupere, în sensul că ruperea se produce :

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = 8 \sigma_t (\sigma_1 + \sigma_3) \quad \text{dacă} \quad \sigma_1 + 3 \sigma_3 > 0 \quad (1.38)$$

$$\sigma_3 = -\sigma_t \quad \text{dacă} \quad \sigma_1 + 3 \sigma_3 < 0 \quad (1.39)$$

și a cărei prezentare grafică este redată în fig. XVI.16 liniară (dreapta ABC : $\sigma_3 = -\sigma_t$ pentru $-\sigma_t < \sigma_1 < 3 \sigma_t$ și parabolică (porțiunea CDE) conform relației (1.38) și care intersectează porțiunea liniară în punctul C ($3 \sigma_t$; σ_t). Parabola completă, relația (1.38), trece prin origine (fig. XVI.16). Cînd $\sigma_3 = 0$, cazul compresiunii monoaxiale, $\sigma_1 = 8 \sigma_t$ și deci rezistența de rupere la compresiune monoaxială este $\sigma_c = 8 \sigma_t$. Prognostica dată

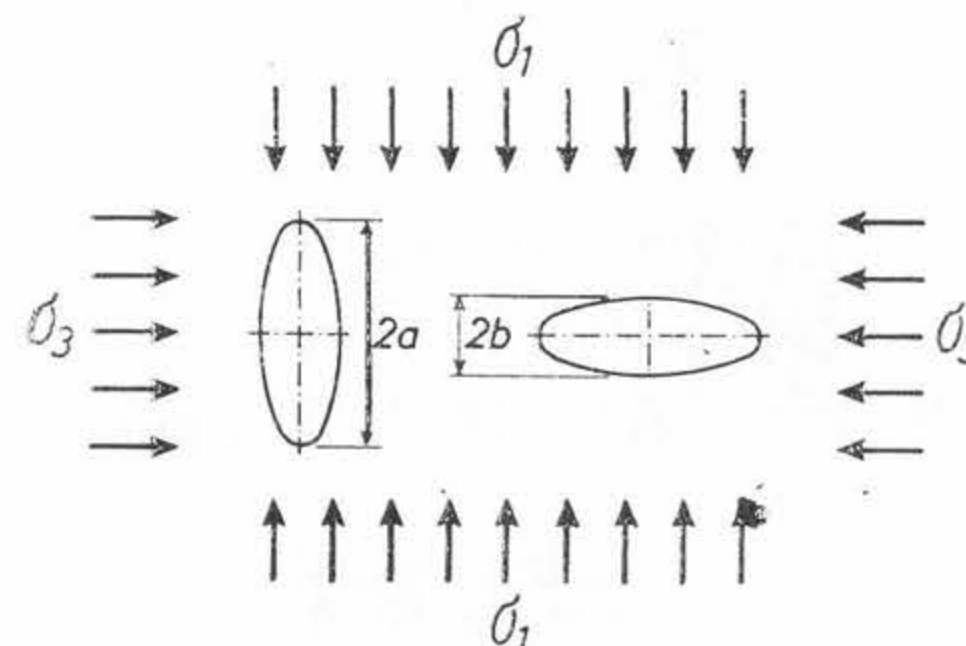


Fig. XVI.15. Fisuri de formă eliptică.

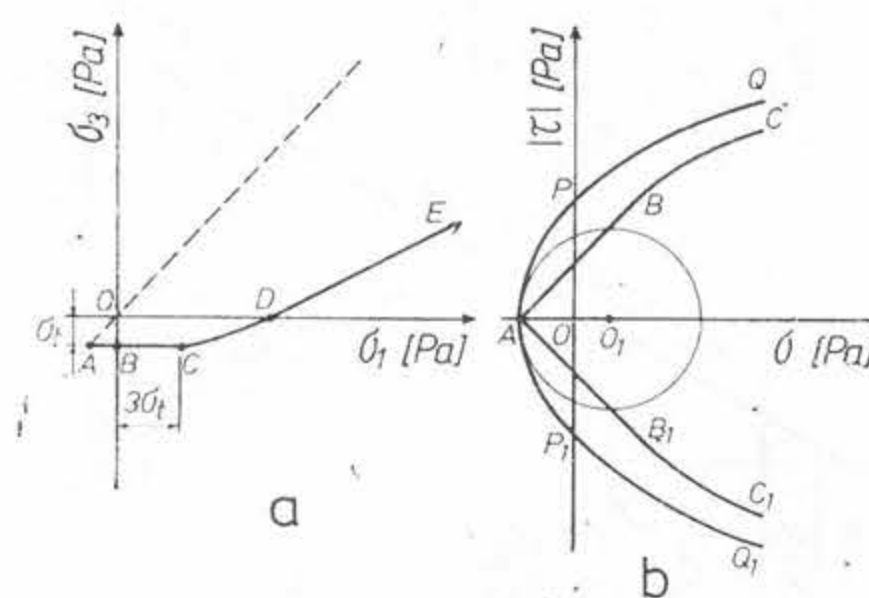


Fig. XVI.16. Criteriul de rupere Griffith :
a - liniar ; b - parabolic.

a rezistenței la compresiune este utilizabilă, dar practica ne relevă că valoric ea este de multe ori mai mare. În contextul teoriei cercului lui Mohr, criteriul lui Griffith devine :

$$\tau_m^2 = 4 \sigma_t \cdot \sigma_m \quad \text{dacă} \quad 2 \sigma_m > \tau_m \quad (1.40)$$

$$\tau_m = \sigma_m + \sigma_t \quad \text{dacă} \quad 2 \sigma_m < \tau_m \quad (1.41)$$

reprezentat grafic în fig. XVI.16 (prin dreapta AB cu înclinarea de 45° pentru $-\sigma_t < \sigma_m < \sigma_t$ și porțiunea parabolică BC pentru $\sigma_m < \sigma_t$). Cercurile Mohr pentru segmentul de dreaptă AB trec prin punctul A . Determinarea înfășurătorii Mohr pentru punctele care descriu parabola BC se realizează prin găsirea înfășurătorii cercurilor de centru σ_m și 0 , și rază τ_m dată de relația (1.40), cercuri a căror ecuație este de forma:

$$f(\sigma_m) = (\sigma - \sigma_m)^2 + \tau^2 - \tau_m^2 = (\sigma - \sigma_m)^2 + \tau^2 - 4\sigma_t\sigma_m = 0 \quad (1.42)$$

Eliminând pe σ_m între ecuațiile sistemului:

$$f(\sigma_m) = 0 \quad (1.43)$$

$$\frac{\partial f(\sigma_m)}{\partial \sigma_m} = 0$$

se obține: $\sigma - \sigma_m + 2\sigma_t = 0$ care, combinată cu relația (1.42), conduce la înfășurătoarea de forma: $\tau^2 = 4\sigma_t(\sigma + \sigma_t)$ ce definește parabola ATP trecind prin punctul A , expresie grafică a criteriului lui Griffith. Analizind cele două moduri de rupere: casant și ductil

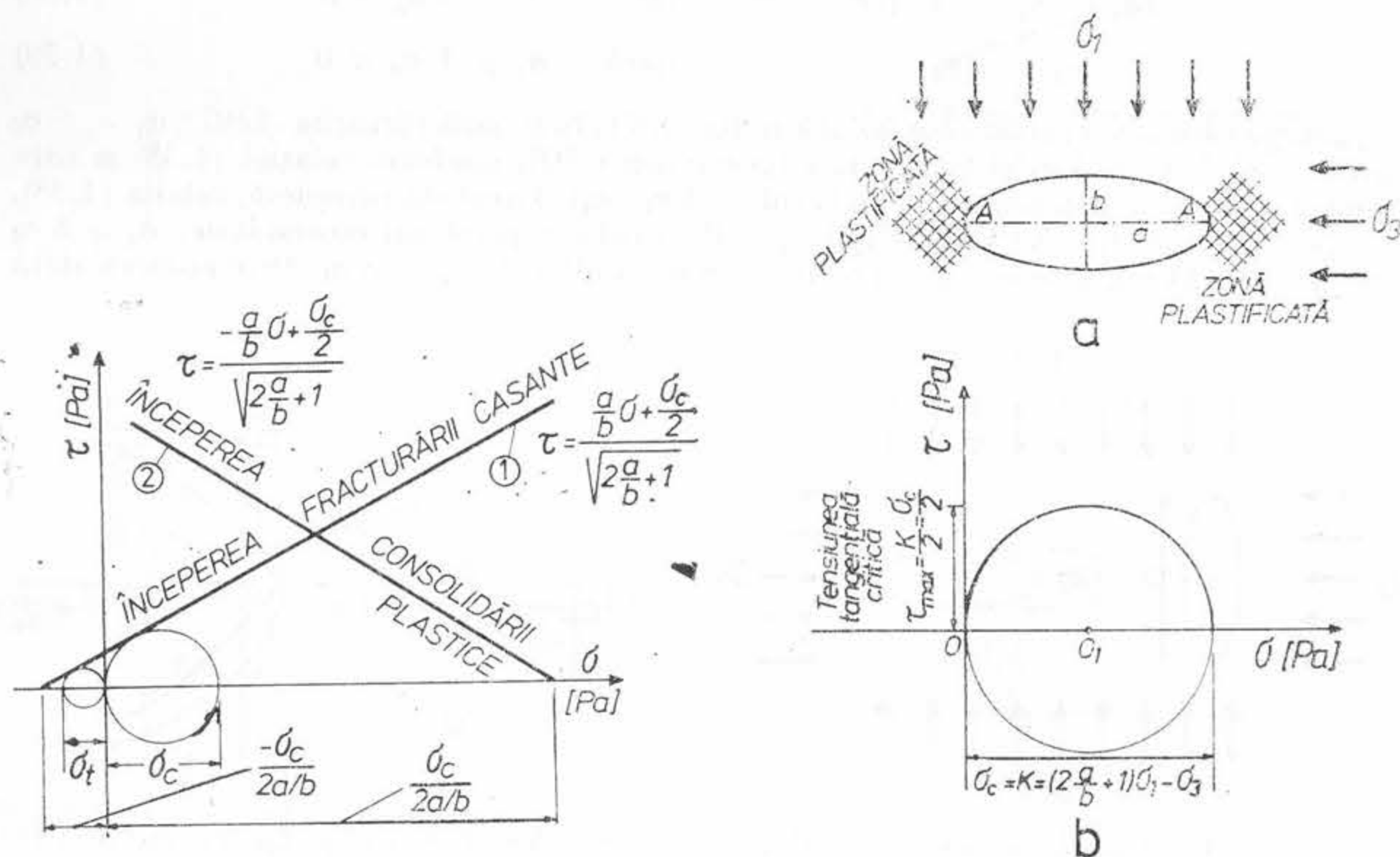


Fig. XVI.17. Expresiile de rupere a înfășurătorilor Mohr de tip ductil și casant.

Fig. XVI.18. Redarea grafică a începerii ruperii plastice.

sau plastic, s-au stabilit atât expresiile înfășurătorilor Mohr pentru ruperea casantă și ruperea plastică (fig. XVI.17), cât și redarea grafică și analitică (fig. XVI.18) a începerii ruperii plastice. O generalizare logică a criteriului lui Griffith (în spațiu tridimensional) conduce la presupunerea că suprafața de rupere are forma unui paraboloid de revoluție

cu axul $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ și a cărei ecuație este: $\tau_{oct}^2 = 8\sigma_t \cdot \sigma_{oct}$, ca rezultat al rotației parabolei din fig. XVI.19 de ecuație $y^2 = 4bx$. Se pare că această teorie este în concordanță bună cu rezultatele experimentale, deoarece în acest caz rezultă că $\sigma_c = 12\sigma_t$.

După prezentarea criteriilor, problema care se pune este aceea de a vedea care, dintre ele trebuie preferat. Răspunsul este greu de dat atâta timp cât nu vor exista sufi-

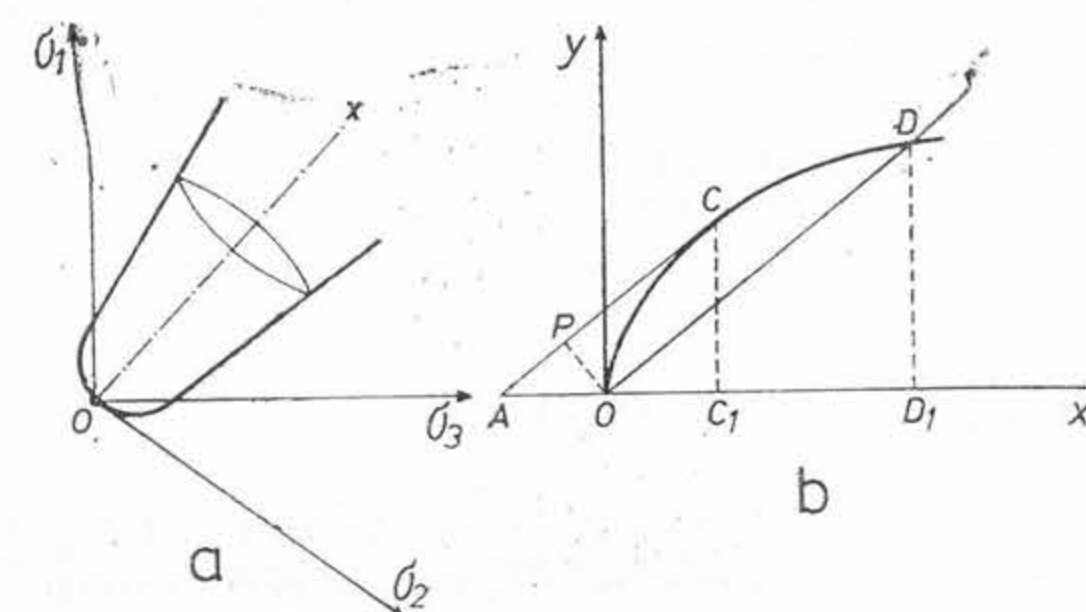


Fig. XVI.19. Criteriul de rupere a lui Griffith generalizat.

ciente date asupra proprietăților mecanice ale rocilor. Există totuși două deosebiri principale între ipotezele teoretice: (1) criteriul Coulomb prezice o variație liniară a lui σ_1 cu σ_3 pe cînd Griffith una parabolică. Nici una din afirmații nu este reală și expresia generalizată a teoriei lui Griffith este mai plauzibilă ($\sigma_1 = \sigma_c + b\sigma_3^m$); (2) criteriile Coulomb, Mohr, Griffith susțin că efortul intermediar σ_2 nu are efect asupra rezistenței rocii. Numai cel generalizat a lui Griffith acceptă un asemenea efect.

2. METODE EXPERIMENTALE PENTRU CARACTERIZAREA ROCILOR ȘI SUBSTANȚELOR MINERALE UTILE

2.1. RECOLTAREA ȘI PRELEVAREA PROBELOR DE ROCI

Probele de rocă trebuie să reprezinte cât mai fidel, din punct de vedere heterogen, masivul studiat. Luarea de probe, eșantionarea, trebuie să fie reală, exactă și specifică problemei urmărite. Ca urmare a acestui fapt operația de colectare trebuie să fie întotdeauna precedată de o serie de observații, determinări și studii referitoare la litologia masivului, la cunoașterea proprietăților geologice și de legătură create în timp de fenomenele geotectonice: structura, textura, compoziția mineralogică, natura matricei sau a materialului de cimentare, gradul de alterare, heterotropia și anizotropia. Toate acestea trebuie marcate pe documentația grafică minieră. Foarte adesea modificările în culoarea rocii ne ajută la delimitarea directă a unor zone diferite. Prezența clivajelor, a fisurilor,

a crăpăturilor și a altor discontinuități se impun a fi luate în considerare în momentul colectării și notate. Precizăm că proprietățile rocilor variază extrem de mult în zona regiunilor faliate, a cutelor etc. În mod obișnuit probele sînt colectate sub forma de blocuri sau carote. Blocurile sînt colectate fie prin tăiere, fie prin intermediul perforării de găuri secante. Nu se admite o colectare de blocuri din roca excavată. Colectarea necesită foarte multă atenție, în sensul că blocurile colectate trebuie să includă la scara respectivă inerențele defecte structurale, plane de slăbire, de heterogenitate etc. În final probele orientate și colectate se parafinează imediat după extragerea din masiv, numerotîndu-se și etichetîndu-se în vederea păstrării tuturor caracteristicilor care se pot modifica odată cu schimbarea condițiilor înconjurătoare. În timpul transportului, probele nu trebuie supuse unor lovituri sau vibrații excesive. Depozitarea lor pînă la prelucrare se va face în condiții adecvate și care să nu le afecteze cu nimic integritatea fizică și mecanică.

2.2. CARACTERISTICI FIZICE

Rocile și substanțele minerale utile, din punct de vedere fizic, sînt sisteme trifazice constituite dintr-un amestec de materie solidă, apă și gaze. Cunoașterea stării fizice a rocilor și a influenței acestora asupra activității miniere se poate realiza numai prin determinarea unor caracteristici fizice. Dintr-o gamă largă de proprietăți fizice pe care o oferă literatura de specialitate se impune cunoașterea proprietăților de densitate și a celor care caracterizează roca ca un corp complex — trifazic — atît ca compoziție cît și construcție.

Proprietățile fizice ce caracterizează densitatea rocilor și care se manifestă ca rezultat al forțelor gravitaționale se pot diferenția în: (1) *gravitaționale propriu-zise*, care includ greutatea specifică (γ); greutatea specifică aparentă sau volumetrică (γ_a) și (2) *structurale*, care includ: analiza granulometrică; masa specifică (ρ); masa volumetrică sau densitatea (ρ_a); porozitatea (n); cifra porilor (e).

Greutatea specifică (γ) este definită ca fiind greutatea unității de volum a fazei solide a rocii sau substanței minerale utile. Valoric se determină pe cale de laborator, prin metoda picnometruului (fig. XVI.20), folosind relația experimentală:

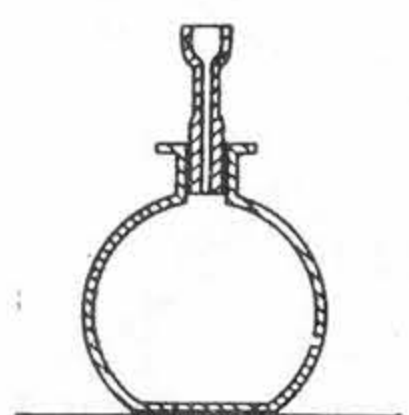


Fig. XVI. 20. Picnometru.

$$\gamma = \frac{(G_2 - G) \cdot \gamma_w}{(G_1 - G) - (G_3 - G_2)} \quad [\text{N/m}^3] \quad (2.1)$$

în care: G este greutatea picnometruului gol și uscat;
 G_1 — greutatea picnometruului plin cu apă distilată pînă la reper;
 G_2 — greutatea picnometruului cu material;
 G_3 — greutatea picnometruului cu material și apă distilată pînă la reper după fierbere și răcire. Valorile greutății specifice a rocilor în raport cu mineralele constitutive variază de obicei între limitele $(1,5-5) \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$.

Greutatea specifică aparentă (γ_a) este definită ca fiind greutatea unității de volum aparent al rocii sau substanței minerale utile. În laborator se determină, în general, prin metoda parafinării, folosind relația experimentală:

$$\gamma_a = \frac{G \cdot \gamma_w \cdot \gamma_p}{\gamma_p(G_1 - G_2) - \gamma_w(G_1 - G)} \quad [\text{N/m}^3] \quad (2.2)$$

în care: G este greutatea probei de rocă cîntărită în aer;

G_1 — greutatea probei parafinate cîntărită în aer;

G_2 — greutatea probei parafinate și cîntărită în apă;

γ_p — greutatea specifică aparentă a parafinei, $(0,87-0,92) \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$;

γ_w — greutatea specifică aparentă a apei ($1,00 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$), sau utilizînd, procedeul în funcție de natura rocilor și substanțelor minerale utile, (tabelul XVI.3). Astăzi se folosește pe scară tot mai largă metoda modificării fasciculului impus sau gamma-gamma. Este o proprietate calitativ-cantitativă.

Tabelul XVI.3. Procedeul de determinare a greutății volumetrice

DOMENIUL DE UTILIZARE	DENUMIREA PROCEDEULUI	ILUSTRAREA GRAFICĂ A PRINCIPIULUI DE DETERMINARE UTILIZAT DE PROCEDEU	RELAȚIA ANALITICĂ UTILIZATĂ
Roci clastice ($c=0$)	Determinări directe prin cîntărire (G) și măsurare (V)		$\gamma_a = \frac{G}{V} \quad [\text{N/m}^3]$ G — greutatea rocii clastice determinată prin cîntărire; V — volumul total măsurat cu cilindru gradat
Roci coezive	Roci moi Procedeul ștanței		$\gamma_a = \frac{G_t - G_s}{V} \quad [\text{N/m}^3]$ G_s — greutatea corpului ștanței; G_t — greutatea corpului ștanței cu rocă; V — volumul interior al ștanței egal cu volumul total al probei
	Roci semistăcoase Determinarea dimensiunilor liniare		$\gamma_a = \frac{G_t (1 + \frac{W_a}{100})}{V} \quad [\text{N/m}^3]$ $V = a \cdot b \cdot h$ (prismă) $a = 0,25(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)$; $b = 0,25(b_1 + b_2 + b_3 + b_4)$; $h = 0,25(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$; $V = \frac{\pi d^2}{4} h$ (cilindru) $d = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 d_i$; $h = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 h_i$

Drept indicator calitativ redă informații referitoare la gradul de alterare a rocilor, în sensul descreșterii sale pentru unul și același tip de rocă cu creșterea alterării. Cantitativ este totdeauna mai mică decît greutatea specifică.

Compoziția granulometrică. Roca sau substanța minerală utilă, structural, nu este niciodată omogenă. Componentul solid este format din granule de diferite mărimi, înconjurate de goluri și ciment de legătură. Mărimea granulelor variază între limite foarte largi — de la granule coloidale pînă la mărimea unor grohotișuri. Mărimea și prezența lor procentuală influențează mult comportarea rocilor. Avînd în vedere acest fapt, este necesară stabilirea repartizării cantitative (procentuale) pe dimensiuni a particulelor componente ale acestora. Un asemenea deziderat se poate realiza prin *analiza granulometrică*, adică determinarea repartizării procentuale (cantitative) pe dimensiuni a particulelor componente ale unei roci. În funcție de natura rocilor și de ordinul de mărime a fragmentelor acestora, analiza se poate realiza prin mai multe metode (tabelul XVI.4). Rezultatele obținute în urma analizei granulometrice sînt prelucrate și interpretate cu ajutorul diverselor diagrame: histograme, curbe de frecvență, curbe de probabilitate etc. (fig. XVI.21). Dintre aceste reprezentări, des utilizate sînt *histogramele* și *curbele granul-*

Tabelul XVI.4

Metode utilizate pentru studiul compoziției granulometrice a rocilor

Principiul	Denumirea metodei de analiză	Caracterizarea și domeniul de utilizare a metodei
0	1	2
Cernerii	Cernerea clasică	Se aplică în cazul rocilor clastice, sedimentare cimentate și unele roci metamorfice, care în contact cu apa se dezagregă (se desfac în granulele lor componente). Poate separa granule cu un diametru minim de până la 40 μ .
	Cernerea ultra-fină în domeniul umed	Se aplică în cazul rocilor clastice, sedimentare cimentate și unele roci metamorfice care în contact cu apa se dezagregă (se desfac în granulele lor componente), dar pentru particule cu diametrul cuprins între 40 μ —1 μ și într-un mediu umed constituit din lichide cu anumite caracteristici de densitate, viscozitate și tensiune superficială (text).
Levigării	Metoda elutriatorului de diferite tipuri (Banco etc.)	Se pot aplica numai pentru un domeniu bine stabilit și anume: diametrul granulelor nu trebuie să aibă un diametru mai mic de 5 μ deoarece apar perturbări de natură browniană; toate cele trei dimensiuni ale granulelor să fie aproximativ egale
În curent de aer	Metoda fluometrelor	Același domeniu de aplicare ca și al elutriatoarelor. Există și procedee combinate cu o centrifugare, caz în care se elimină unele inconveniente ale procedeeleor simple prin levigație sau în curent de aer

Tabelul XVI.4 (continuare)

0	1	2
Sedimentării	Metoda de sedimentare clasică (pipeta <i>Andresen</i> , sedimentometrul <i>Prof</i> , vasul lui <i>Boyau-cos</i> etc.)	Domeniul lor de aplicare pentru granule cu diametrul cuprins între 40 μ —2 μ . Toate variantele sedimentării clasice prezintă inconvenientul de a fi lente, puțin precise și false totodată pentru granulele foarte fine (< 2 μ) prin fenomenele de adsorbție, mișcarea browniană, orientarea granulelor care apar în timpul încercărilor.
	Metode de sedimentare combinate	S-a mărit domeniul de aplicare al sedimentării până la granule cu dimensiunea de 0,25 μ , prin înlocuirea acțiunii accelerației gravitaționale cu accelerația centrifugală.
Optic	1. Metoda microscopiei clasice 2. Metoda microscopiei televizate 3. Metode ale laserului etc.	Asemenea metode se pot aplica pentru orice tipuri de rocă și pentru granulometrii corespunzătoare, de fapt mărimilor pe care le au acestea în componența rocilor și substanțelor minerale utile. Ele se mai numesc și <i>metode directe</i> . Sint de precizie extrem de mare și rapide. Aplicabilitatea acestor metode nu este limitată.
Electric Laserului etc.		

metrice propriu-zise, deoarece alura și raportul ce există între ele conduc la o caracterizare a rocii studiate. În cazul acestor reprezentări grafice, pe abscisă se trece diametrul particulelor, în ordine descrescătoare și într-o scară logaritmică, iar pe ordonată, procentele în greutate a diverselor fracțiuni. Histograma redă modul de repartizare, pe dimensiuni, a granulelor materialului studiat. Ordonata maximă a histogramei indică greutatea procentuală a granulelor cu dimensiunile cele mai frecvente. Curba granulometrică este curba integrală a histogramei, având un punct de inflexiune în dreptul abscisei pentru care histograma prezintă un maxim. Orice ordonată a acestei curbe reprezintă cantitatea procentuală de granule cu diametrul egal sau mai mic decât diametrul din dreptul ordonatei respective. Alura, continuitatea histogramei și a curbilor granulometrice conduc la noțiunea de *roci gradulate* sau *negradulate*. Înclinarea curbei granulometrice dă indicații asupra raportului în care se găsesc mărimile particulelor. Numeric, uniformitatea sau neuniformitatea materialelor se exprimă prin *coeficientul de uniformitate* sau *neuniformitate*:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2.3)$$

unde : d_{10} este diametrul efectiv corespunzător la 10% din greutatea totală a materialului ;
 d_{60} — diametrul corespunzător la 60% din greutatea totală a materialului. Granula cu diametrul efectiv (d_{10}) este denumită *granulă eficace* și ea caracterizează permeabilitatea, capilaritatea și fenomenul de filtrare a materialului, în sensul că un material ideal

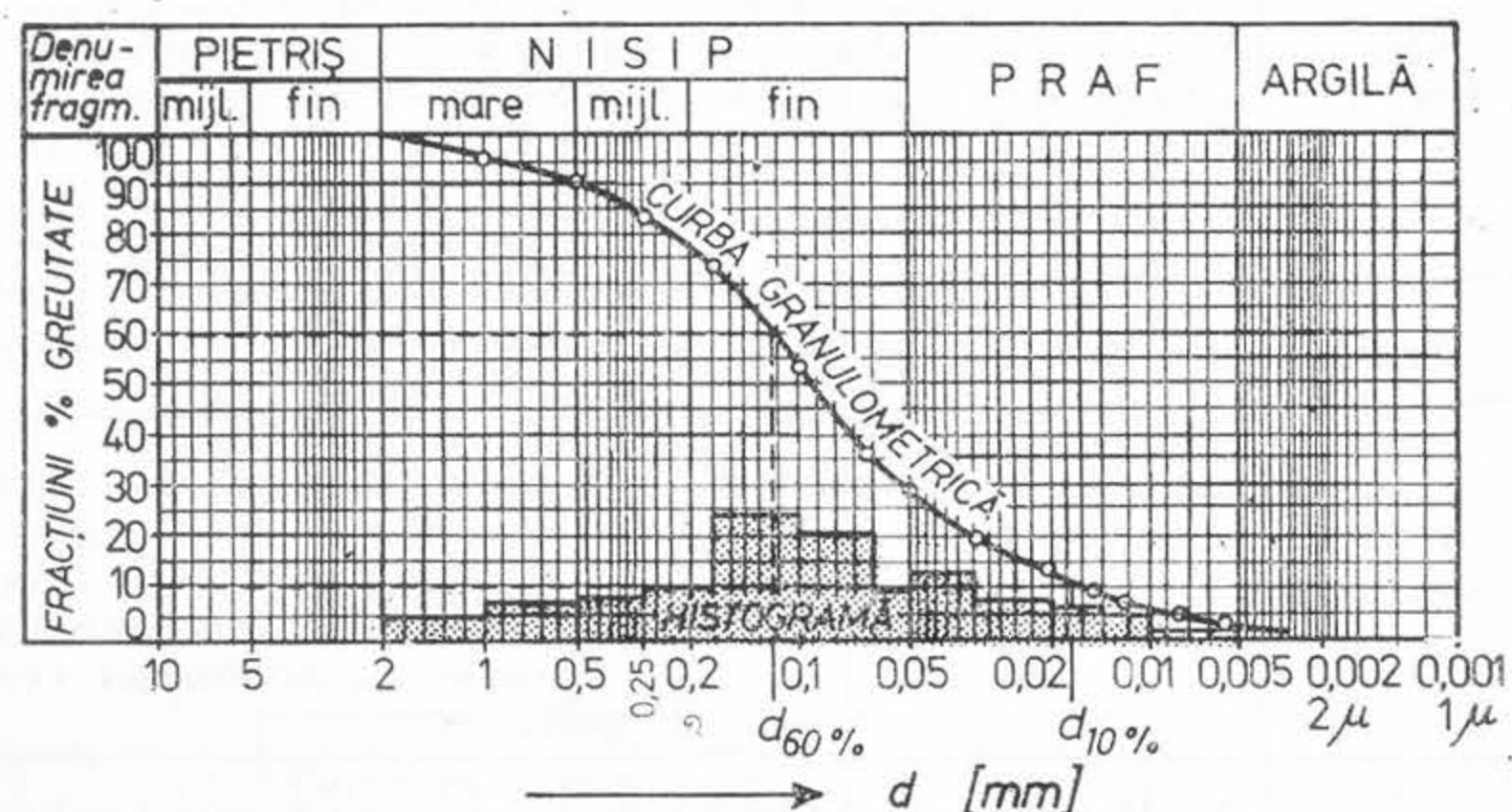


Fig. XVI.21. Curba granulometrică.

avînd toate granulele de mărimea celei eficace are aceeași caracteristici de permeabilitate, capilaritate, filtrare ca și materialul real pentru care s-a determinat diametrul efectiv respectiv.

După valoarea coeficientului de neuniformitate, rocile se clasifică conform tabelului XVI.5.

Tabelul XVI.5

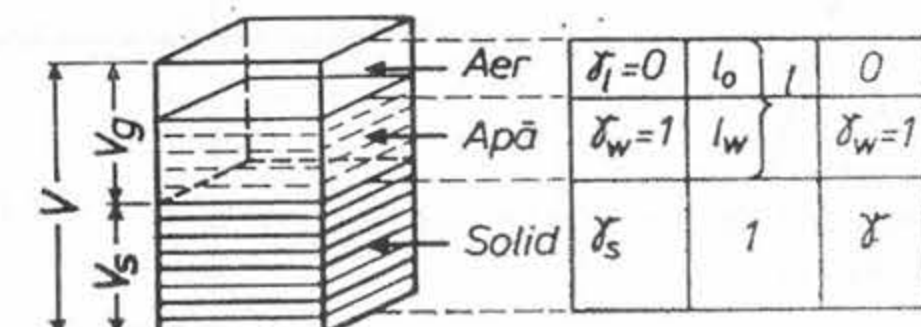
Clasificarea rocilor funcție de coeficientul de neuniformitate

Valoarea coeficientului de neuniformitate, U	Caracterizarea rocilor
$U < 5$	foarte uniforme
$5 < U < 15$	uniformitate medie
$U > 15$	foarte neuniforme

Porozitatea (n). Orice solid care conține goluri sau cavități (interstiții, pori, fisuri, caverne) legate sau nu între ele, distribuite regulat sau întâmplător, poate fi numit *mediu* sau *material poros* dacă acestea se găsesc relativ frecvent în interiorul lui.

Golurile interioare poartă numele de *interstiții*, *spații poroase* sau simplu *pori*. Pori sînt distribuiți oricum în materialul poros și pot fi sau nu legați între ei. Spațiul poros integral, cu sau fără legături, se numește *spațiu poros total* și este caracterizat de un volum total al golurilor (V_{gt}). Spațiul interconectat se numește *spațiu poros efectiv* și este caracterizat de un volum efectiv al golurilor (V_{ge}). Rocile și substanțele minerale

Fig. XVI.22. Definirea porozității și a indicelui porilor.



utile sînt medii poroase naturale. Porozitatea (n) este proprietatea ce caracterizează, ca și medii poroase, rocile și substanțele minerale utile. Ea este definită (fig. XVI.22) de volumul total al golurilor din unitatea de volum a rocii, fiind reprezentată de raportul dintre dintre volumul golurilor (V_g) și volumul total (V):

$$n = \frac{V_g}{V} \quad (2.4)$$

Porozitatea este o mărime adimensională și ca atare se exprimă în fracțiuni ale unității sau în procente. De modul cum apare în roci, porozitatea poate fi de diferite tipuri: intergranulară (accea dintre granulele de siliciu); intercristalină (între cristalele de calcit, dolomit); de soluție sau disolvare; de fractură; cavernoasă. Noțiunea de porozitate include atât pori din rocile granulare (porozitate interstițială cît și fisurile și golurile din rocile coezive (porozitate fisurată).

În contextul definirii mediului poros (total sau efectiv), porozitatea rocilor și a substanțelor minerale utile se poate clasifica în: *totală* (n_t) sau *aparentă*, caz în care volumul golurilor include totalitatea porilor interconectați sau nu, existenți în mediul considerat și *efectivă* (n_e) sau *reală*, caz în care volumul golurilor include numai pori care sînt interconectați în mediul considerat. Deci:

$$n_t = \frac{V_{gt}}{V}; \quad n_e = \frac{V_{ge}}{V} \quad (2.5)$$

Porozitatea efectivă caracterizează roca prin faptul că este aceea porozitate prin care apa se poate deplasa sub acțiunea forțelor gravitaționale. Această caracteristică prezintă un mare interes din punct de vedere hidrogeologic și cantitativ corespunde *coeficientului capacității de cedare a apei de către rocă* (C). Valoarea porozității efective depinde de compoziția mineralogică și granulometrică a rocii. Pe măsura micșorării granulometriei crește diferența dintre porozitatea totală și efectivă, ajungîndu-se ca la argile n să tindă către zero, adică aceste roci practic sînt impermeabile. Porozitatea totală se poate exprima cantitativ funcție de o serie de alte caracteristici fizice (tabelul XVI.6). În general, porozitatea are o influență deosebită asupra caracteristicilor mecanice (de rezistență, elastice și reologice) ale rocilor. Este utilizată în o serie de probleme legate de rezistența, stabilitatea rocilor, de infiltrare a apelor, gazelor, acumulărilor și erupțiilor de gaze, a exploziilor de rocă și gaze. Valoric, porozitatea totală variază în limite largi — de la părți ale unui procent pînă la 90% și mai mult. Este acceptată o clasificare a rocilor după porozitate (tabelul XVI.7).

Tabelul XVI.6

Expresiile porozității și ale cifrei porilor

Criteriul de exprimare	Expresia porozității, n	Expresia cifrei porilor, e
Funcție de greutatea specifică și aparentă	$n = \frac{V_g}{V}; V_g = V - V_s$ $n = \frac{V - V_s}{V} = \left(1 - \frac{\gamma_a}{\gamma}\right)$	$e = \left(\frac{\gamma}{\gamma_a} - 1\right)$
Funcție de greutatea specifică, volumetrică și umiditatea W	$n = \left[1 - \frac{\gamma_a}{\gamma \left(1 + \frac{W}{100}\right)}\right]$	—
Funcție de cifra porilor respectiv de porozitate	$n = \frac{e}{1 + e}$	$e = \frac{n}{1 - n}$

Tabelul XVI.7

Clasificarea rocilor pe baza porozității

Caracterizarea rocii	Valoarea porozității [%]
Cu porozitate foarte mică	< 5
Cu porozitate mică	5—10
Cu porozitate medie	10—15
Cu porozitate ridicată	15—20
Cu porozitate foarte mare	> 20

Indicele porilor (e) sau cifra porilor reprezintă raportul dintre volumul golurilor (V_g), (fig. XVI.22) și volumul scheletului mineral sau real al rocii :

$$e = \frac{V_g}{V_s} \quad (2.6)$$

Indicele porilor se poate determina și în funcție de o serie de caracteristici fizice (v. tabelul XVI.6). El prezintă o deosebită importanță în calculul tasărilor, a caracterizării rocilor în vederea utilizării lor pentru fundații etc. sens în care rocile pămîntoase sînt clasificate (tabelul XVI.8).

Tabelul XVI.8

Clasificarea rocilor după indicele porilor

Caracterizarea rocilor	Domeniul de varietate a indicelui porilor, e
Bune ca terenuri pentru fundații	$e < 0,5$
Acceptabile pentru fundații	$0,5 < e < 1$
Necesită lucrări artificiale suplimentare de compactare	$e > 1$

Dintre proprietățile fizice ce caracterizează trifazic roca se menționează : umiditatea naturală (W) ; umiditatea la saturație (W_s) ; gradul de saturație (S) ; permeabilitatea rocilor ; limitele de consistență.

Umiditatea naturală (W) este raportul dintre cantitatea de apă pe care o conține roca în stare naturală (G_w) și greutatea scheletului mineral solid (G_s). Se determină atât pe cale de laborator cît și *in situ*. Pe cale de laborator se determină în baza relației experimentale :

$$W = \frac{G - G_1}{G_1 - G_2} \quad (2.7)$$

unde : G este greutatea probei de rocă în stare naturală plus tara ;

G_1 — greutatea probei după uscarea la 105°C plus tara ;

G_2 — greutatea tarii.

Umiditatea la saturație (W_s) reprezintă raportul dintre cantitatea maximă de apă ($w_{w,max}$) și greutatea scheletului mineral al rocii. Ea caracterizează de fapt conținutul total de apă la saturarea completă a acesteia și mai poate fi denumită *capacitate totală de umiditate* a unei rocii. În contextul unei asemenea noțiuni, des utilizate în domeniul studierii apelor subterane, a problemelor de asecare etc. se disting : *capacitatea de reținere* și *capacitatea de cedare a apei*, parametri ce exprimă proprietatea pe care o au rocile de a reține, respectiv de a ceda o anumită cantitate de apă în condiții naturale de lucru. Capacitatea de reținere include apa de natură higroscopică, apa legată molecular și o parte din apa capilară. Capacitatea de cedare se referă în genere la apa de natură gravitațională și sub formă de vapori, fiind dependentă de prezența porozității efective sau active a rocii. Deci, capacitatea de cedare a apei nu este o constantă ci variază cu durata drenării și în funcție de cantitatea de apă existentă în rocă. Astfel, în cazul rocilor saturate, la început

cedarea apei se produce cu viteză maximă, scăzând apoi pînă la încetarea oricărei curgeri. O asemenea caracteristică este în funcție de:

— compoziția granulometrică (scade pe măsura micșorării mărimii granulelor componente), tabelul XVI.9;

Tabelul XVI.9

Variația capacității de cedare a apei funcție de granulometria rocilor elastice

Roca	Valoarea capacității de cedare a apei
Nisip grosier	0,25—0,35
Nisip mijlociu	0,17—0,21
Nisip fin	0,10—0,18
Nisip prăfos	0,05—0,10

— de structura, textura și gradul de fisurație a rocilor, depinzînd de densitatea de fisurație și gradul de deschidere al fisurilor.

Astfel rocile de tipul gnaisurilor, micașturilor, caracterizate de o fisurație dezvoltată, dar de dimensiuni capilare, au capacitatea de reținere mare și o capacitate de cedare scăzută, pe cînd calcarele masive, granitele, granodioritele și în genere rocile cristaline, cu fisuri bine dezvoltate și pronunțat deschise, au o capacitate de reținere foarte redusă. În funcție de raportul dintre capacitatea de cedare și capacitatea de reținere, rocile saturate se împart în: *acviclude* — cele cu o capacitate de cedare nulă și *acvifere* — cele cu o anumită capacitate de cedare a apei.

Starea de saturație a unei roci poate fi caracterizată și prin *gradul de saturație* (S), adică:

$$S = \frac{W}{W_s} \quad (2.8)$$

În funcție de gradul de saturație rocile se pot clasifica conform tabelului XVI.10.

Tabelul XVI.10

Clasificarea rocilor funcție de gradul de saturație

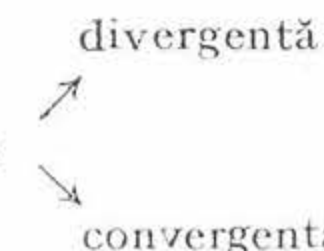
Caracterizarea rocilor	Valoarea gradului de saturație
Uscate	$0 < S < 0,4$
Umede	$0,4 < S < 0,8$
Foarte umede	$0,8 < S < 1$
Saturate	$S = 1$

Permeabilitatea este proprietatea pe care o au rocile de a permite trecerea sau scurgerea apei (și a gazelor) prin ele. Estimarea acestei proprietăți poate fi exprimată valoric prin *coeficientul de permeabilitate* (k).

În condiții de laborator k se poate determina printr-o serie de metode, funcție de natura rocilor (tabelul XVI.11). În funcție de natura rocilor clastice sau coezive, permeabilitatea se manifestă în mod diferit, atît ca intensitate cit și ca fenomen.

Tabelul XVI.11

Metode de determinare a coeficientului de permeabilitate k

Natura rocilor	Metoda	Procedeu	Relațiile de calcul
Clastice	Cu gradient	Variabil	$k = 2,3 \frac{A_1}{A_2} \frac{l}{t} \lg \frac{h_i}{h_f}$
		Constant	$k = \frac{Q}{A \cdot i \cdot t}$
Semistîncioase și stîncioase	Percolării	Longitudinale	$k = \frac{QL}{p \cdot A}$ sau $k = \frac{V \cdot L}{A \cdot p \cdot t}$
		Radiale 	$k = \frac{Q}{A \cdot S}$
			$k = \frac{Q}{2\pi L \cdot p} \cdot \lg \frac{R_2}{R_1}$

Semnificații: A_1 și A_2 — secțiunea cilindrului gradat, respectiv a probei; l — lungimea probei; h_i ; h_f — înălțimea inițială și finală a apei în cilindru; Q — debitul de apă; i — gradientul hidraulic; p — presiunea de lucru; V — volumul de apă ce trece prin probă în timpul t ; L — lungimea epruvetei; R_1 ; R_2 — razele interioară și exterioară a epruvetei.

În mod concret, în cazul rocilor clastice, lipsite de coeziune, permeabilitatea se manifestă printr-un *proces de filtrare*; în cazul rocilor coezive, dar fisurate — printr-un *proces de fluație*, iar în cazul rocilor coezive nefisurate, caracterizate de o anumită porozitate reală — prin *coeficientul de permeabilitate propriu-zis*.

Tabelul XVI.12

Clasificarea rocilor funcție de coeficienții de filtrare și permeabilitate

Grupa	Caracterizarea rocii	Coeficientul de filtrare, k_f pentru ape cu mineraliza- ție redusă și $t^0 = 20^\circ\text{C}$		Coeficientul de permeabilitate k cm/s
		m/zi	cm/s	
I	Roci cu permeabilitate foarte mare: bolovănișuri, pietrișuri cu nisip grosier, calcare puternic fisurate, roci intens fisurate	100 — 1000 și mai mare	0, 12 — 1, 16	$1, 2 \cdot 10^{-6} - 1, 2 \cdot 10^{-5}$
II	Roci cu permeabilitate mare: bolovănișuri și pietrișuri colmate cu nisip fin, nisipuri groiere, roci fisurate	10 — 100	0, 012 — 0, 12	$1, 2 \cdot 10^{-7} - 1, 2 \cdot 10^{-6}$
III	Roci permeabile: bolovănișuri și pietrișuri colmate cu nisip fin și parțial cu argilă, nisipuri mijlocii și fine, roci puțin fisurate.	1 — 10	$1, 2 \cdot 10^{-3} - 1, 2 \cdot 10^{-2}$	$1, 2 \cdot 10^{-8} - 1, 2 \cdot 10^{-7}$
IV	Roci slab permeabile: nisipuri fine, nisipuri argiloase, roci cu fisurație fină, loessuri.	0, 1 — 1	$1, 2 \cdot 10^{-4} - 1, 2 \cdot 10^{-3}$	$1, 2 \cdot 10^{-9} - 1, 2 \cdot 10^{-8}$
V	Roci foarte slab permeabile: argile nisipoase, prafuri, roci foarte slab fisurate	0, 001 — 0, 1	$1, 2 \cdot 10^{-6} - 1, 2 \cdot 10^{-4}$	$1, 2 \cdot 10^{-10} - 1, 2 \cdot 10^{-9}$
VI	Roci practic impermeabile: argile, marne, roci masive	< 0, 001	< $1, 2 \cdot 10^{-6}$	< $1, 2 \cdot 10^{-11}$

Procesul de filtrare, în cazul rocilor elastice, este evidențiat de capacitatea filtrantă a lor, exprimată prin *coeficientul de filtrare* (k_f), definit ca fiind viteza de filtrare a curentului acvifer la un gradient hidraulic unitar și la o temperatură dată:

$$k_f = k \frac{\gamma_w}{\eta} \quad (2.9)$$

unde η este coeficientul de vîscozitate dinamică.

În funcție de coeficienții de filtrare și permeabilitate, rocile pot fi clasificate în 6 grupe (tabelul XVI.12). Se precizează că în cazul rocilor carstice și fisurate, permeabilitatea se poate concretiza practic prin noțiunea de *absorbție specifică* sau *capacitatea specifică de debitare* (q), determinată prin pompări experimentale și exprimată în l/min pe denivelare unitară și 1 m grosime de orizont acvifer deschis (tabelul XVI.13).

Tabelul XVI.13

Clasificarea rocilor fisurate funcție de capacitatea de debitare

Clasa	Caracterizarea rocii	Valoarea capacității de debitare, q [l/min]
1	Roci practic impermeabile	< 0,001
2	Roci slab permeabile	0,001 — 0,01
3	Roci permeabile	0,01 — 0,1
4	Roci cu permeabilitate medie	0,1 — 1
5	Roci cu permeabilitate ridicată	1 — 10
6	Roci cu permeabilitate foarte mare	10 — 100
7	Roci cu permeabilitate excepțională	> 100

Limitele de consistență sînt caracteristice rocilor argiloase, argilo-marnoase și celor predispuse alterărilor de natură chimică. Funcție de cantitatea de apă liberă conținută de asemenea roci, acestea se pot prezenta sub diferite stări de consistență — începînd

de la starea unui solid tare pînă la starea unui lichid viscos (fig. XVI.23). Separatia dintre cele patru stări (fig. XVI.23) a realizat-o Atterberger după anumite limite, (fig. XVI.23) :

— limita superioară de plasticitate sau limita inferioară de curgere (W_c), adică umiditatea W_c (fig. XVI.23) corespunzătoare trecerii rocii din starea plastică în starea de curgere;

— limita inferioară de plasticitate sau limita de frământare (W_f), adică umiditatea W_f corespunzătoare trecerii rocii din starea plastică la starea unui corp semitare, (fig. XVI.23);

— limita de contracție (W_s), adică umiditatea W_s la punctul de trecere a rocii din starea semitare la starea unui corp tare.

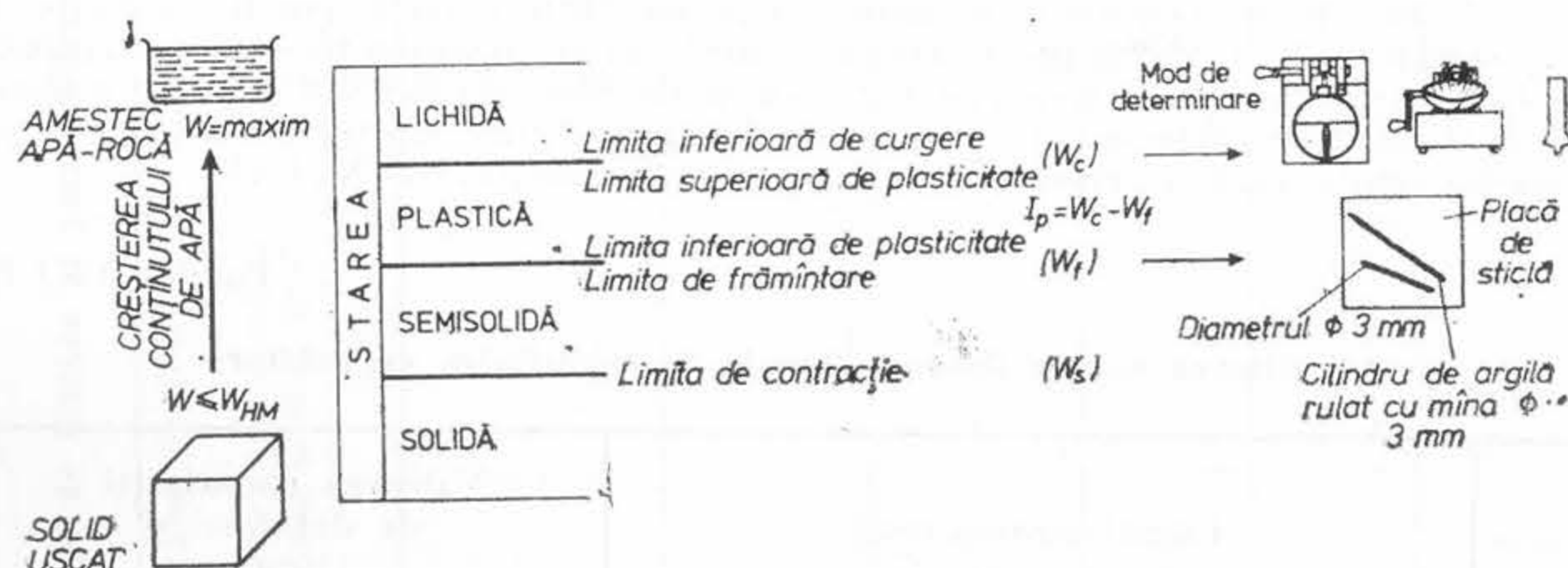


Fig. XVI.23. Limitele de consistență.

Intervalul dintre două limite consecutive definește zona conținutului de apă care corespunde unei stări determinate. Valoric, limitele se determină ca umidități pe probe de rocă constituite din fracțiuni cu o granulație ce trece prin sita de 0,42 mm și cu metodologii redată de literatura de specialitate. Din punct de vedere practic, pe baza limitelor lui Atterberger rocile se pot caracteriza prin o serie de indici (tabelul XVI.14). În funcție de

Tabelul XVI.14

Indici ce caracterizează rocile în funcție de limitele de consistență

Denumirea indicelui	Expresia analitică
Indice de plasticitate	$I_p = W_c - W_f$
Indice de consistență	$I_c = \frac{W_c - W}{W_c - W_f}$ pentru $W_c > W$
	$I_c = \frac{W - W_c}{W_c - W_f}$ pentru $W > W_c$

Tabelul XVI.15

Clasificarea rocilor funcție de indicii de consistență

După indicii de plasticitate, I_p		După indicii de consistență, I_c		
Categoria rocii	Valoarea lui I_p	Categoria rocii	Valoarea indicelui I_c	Caracterizare
Nisipuri	Roci argiloase: — nisipuri argiloase — prafuri — argile: slabe	$I_p \leq 1$	$I_c = 0$	Nu se pot folosi pentru fundații — <i>instabile</i>
		$I_p > 1$	$0 < I_c < 0,25$	Nu se pot folosi pentru fundații — <i>instabile</i>
		$1 < I_p < 7$	$0,25 < I_c < 0,5$	Tasări foarte mari — <i>instabile</i>
		$7 < I_p < 17$	$0,5 < I_c < 0,75$	Tasări mari — <i>stabilitate foarte mică</i>
		$17 < I_p < 30$	$0,75 < I_c < 1$	Tasări medii — <i>stabilitate mică</i>
		$30 < I_p < 60$	$I_c = 1$	Tasări mici — <i>stabile</i>
obișnuite	grase	$60 < I_p < 100$	$I_c > 1$	Nu prezintă tasări — <i>foarte stabile</i>
		$I_p > 100$		

acești indici se pot clasifica conform tabelului XVI.15. În domeniul mineritului, în afara caracterizării rocii ca stare fizică, a comportamentului plastic al rocilor argiloase sau cu componenți argileși etc., parametrii de consistență pot servi atât la stabilirea calității burajului (fig. XVI.24), cât și la alegerea materialului corespunzător pentru realizarea pulpelor necesare inundării focurilor subterane prin înămolire. Calitățile ce trebuie să le aibă o argilă în scopurile precizate sînt redată în tabelul XVI.16.

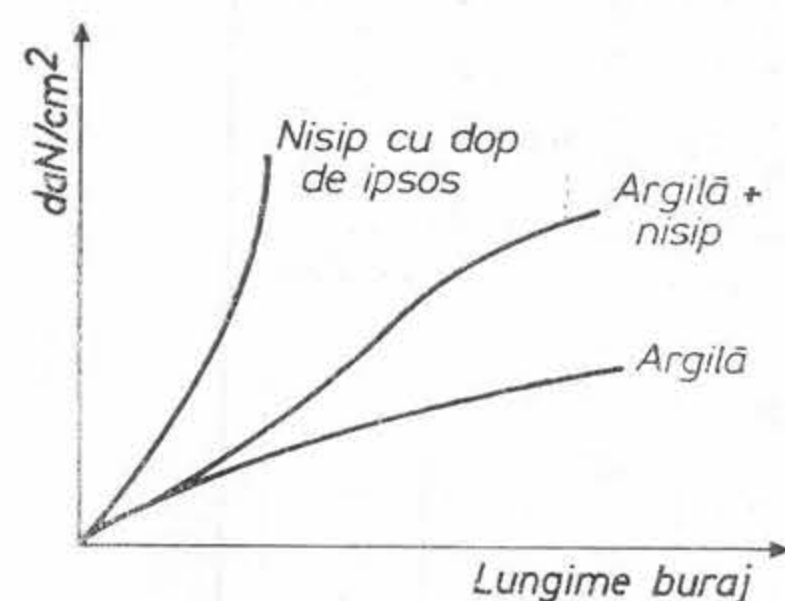


Fig. XVI.24. Rezistența la azvîrlire din gaura de mină a burajului din amestecuri diferite.

Tabelul XVI.16

Calități pe care trebuie să le îndeplinească o argilă pentru buraj

Calitatea burajului	Calitatea pulpei la înămolire
Argilă: $20 < W_c < 35$; $10 < I_p < 30$ rezistența la azvîrlire din gaura de mină 50 MPa	Argilă nisipoasă: $\gamma = 2,45 - 2,8$ $\gamma_a = 1,72 - 1,94$ $W = 17 - 32$ $I_p = 6,6 - 24$

Obs.: Compoziția exactă și proprietățile materialului folosit la înămolire se stabilesc funcție de natura zăcămintului, condițiile geologice și petrografice ale rocilor înconjurătoare.

2.3. CARACTERISTICI MECANICE

Proprietatea pe care o au rocile și substanțele minerale utile supuse solicitării de a se opune acțiunii de distrugere a structurii lor și de a-și păstra, între anumite limite, forma geometrică se numește *rezistență*. Rezistența unei roci este o mărime variabilă a cărei modificare este determinată de factori ce depind de natura rocii, de orientarea și de direcțiile de solicitare, de viteza de solicitare și de durata solicitărilor.

Rezistența rocilor este caracterizată de o serie de proprietăți mecanice. Cele mai importante caracteristici mecanice de rezistență sînt: *rezistența de rupere la compresiune*

monoaxială (σ_c); *rezistența de rupere la tracțiune* (σ_t); *rezistența de rupere la forfecare* (τ_f). Cele mai multe fenomene, probleme, din domeniul minier implică una sau alta din aceste proprietăți. Factorii care influențează rezultatele încercărilor sînt: caracteristicile echipamentului de încercare, măsurarea, mărimea epruvetelor și forma lor, pregătirea și realizarea suprafețelor după care se solicită epruvetele, vitezele de solicitare, temperatura și umiditatea. Astfel, din cauză că deformația de rupere a rocii este mică (circa 0,001—0,003 la tracțiune și de 0,002—0,025 la compresiune), instrumentele de măsură a deformațiilor trebuie să fie foarte sensibile. Asemenea instrumente sînt construite fie pe principiul mecanic (microcomparatoare cu precizia de 1/100—1/1000), optic, tensometric sau amplificare electronică. Ca echipamente de solicitare se folosesc mașinile universale de

Tabelul XVI.17

Forme de epruvete utilizate în determinarea caracteristicilor mecanice de rezistență, elastice, reologice

Grupa	Tipul de epruvete	Tipul solicitării
Regulate	Cuburi	Compresiune
	Prisme cu baza un pătrat	Compresiune, tracțiune, forfecare
	Prisme cu baza un dreptunghi	Compresiune
	Cilindri	Compresiune, tracțiune, forfecare
	Bare cu secțiunea transversală un pătrat	Încovoiere, tracțiune pentru roci
	Bare cu secțiunea transversală un dreptunghi	Cu rezistența la tracțiune mai mică decît rezistența adezivului
Neregulate	Aproximativ sferice De forma alungită	Compresiune pe cale directă Tracțiune, forfecare
	Bulgări cu contur neregulat	Consacare statică, concasare dinamică
Speciale	Pișcot în diferite variante	La tracțiune pură
	Forme de tipul brichetelor	Compresiune după diferite direcții
	Forme de discuri, forme de șaibe	Tracțiune și forfecare

încercat construite pe principiul hidraulic, cu limite ale sarcinii dezvoltate ce poate varia între 0 și $3 \cdot 10^3$ kN sau mașinile universale de încercat de tip rigid acționate electronic (instalații inductive).

Epruvetele utilizate sînt de formă regulată, neregulată și speciale (tabelul XVI.17). Epruvetele de formă regulată sînt confecționate cel mai frecvent prin carotare la diametrul de 42 mm și tăiate apoi la un coeficient de sveltețe λ , în funcție de tipul solicitării. Astfel, pentru încercarea la compresiune monoaxială se recomandă un $\lambda = 2$. Pentru încercarea la tracțiune, în funcție de procedeul folosit, se recomandă $\lambda = 1$ (în cazul procedurii brazilian $\lambda = 1$; în cazul comprimării cilindrilor sau a epruvetelor de formă prismatică după o generatoare $\lambda = 1-2,5$). Pentru solicitări la forfecare $\lambda = 1$, iar pentru încercările poliaxiale $\lambda = 2-3$.

Rezistența de rupere la compresiune monoaxială (σ_c) este definită ca fiind valoarea tensiunii de rupere a epruvetelor de rocă supuse solicitării la compresiune:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.10)$$

unde: F este forța aplicată;

A — suprafața de solicitare a epruvetei.

O serie de factori afectează valoarea acestei rezistențe: frecarea între platanele mașinii de încercat și suprafețele epruvetelor; geometria epruvetei (forma și efectul de scară); viteza de solicitare; condițiile înconjurătoare (umiditate, temperatură etc.). La încercare trebuie respectate condițiile date în tabelul XVI.18.

Dacă nu se iau în considerare factorii respectivi și influența lor și nu se respectă condițiile impuse de tabelul XVI.18, atunci rezultatele pot fi eronate și în mod virtual nefolositoare.

Rezistența de rupere la compresiune se determină pe cale directă și indirectă pe diferite forme de epruvete, în funcție de natura rocii, conform tabelului XVI.19. Între rezistența de rupere la compresiune determinată pe cale directă σ_c și aceea determinată pe cale indirectă există relația $\sigma_c = k \cdot \sigma_{ci}$, unde k are valorile 0,08 pentru rocile casante și 0,15—0,19 pentru rocile cu un comportament ductil. Valoric, rezistența de rupere la compresiune monoaxială este situată între limite extrem de largi, adică de la circa 0,1 MPa (roci foarte slab cimentate) pînă la 500 MPa (roci de tipul bazaltelor, granitelor etc.).

Rezistența de rupere la tracțiune monoaxială (σ_t) este definită ca fiind valoarea tensiunii la rupere a epruvetelor de rocă supuse unor solicitări la tracțiune. Deci:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.11)$$

Încercarea la tracțiune pură se realizează pe epruvete de formă specială (tabelul XVI.20). Metoda prezintă dificultăți în ceea ce privește confecționarea epruvetelor, în sensul că este extrem de pretențioasă și anevoioasă. Totodată, datorită sistemului de prindere a epruvetelor, în punctele de contact rocă-sistem de prindere se nasc eforturi de forfecare care slăbesc epruveta și aceasta se va rupe după plane ce trec prin aceste puncte, afectînd astfel rezultatele încercării la tracțiune pură. În scopuri practice s-au creat metode indirecte de determinare (tabelul XVI.20) a rezistenței la tracțiune. Dintre acestea, uti-

Tabelul XVI.18

Condiții ce trebuie îndeplinite la prelucrarea epruvetelor de rocă pentru încercări

Încercare la compresiune	Încercare la tracțiune simplă	Încercare la forfecare simplă
<ol style="list-style-type: none"> 1. Diametrul epruvetei de 42 mm și mai mare. 2. Coeficientul de sveltețe $\lambda \geq 2$. Dacă $\lambda = 1$ atunci echivalentul rezistenței pentru $\lambda = 2$ se obține prin $(\sigma_c)\lambda=2 = 0,9(\sigma_c)\lambda=1$. 3. Planitatea de 0,02 mm, suprafețele perfect șlefuite. 4. Perpendicularitatea suprafețelor pe generatoare cît mai bună, eroare de $\pm 1,0^\circ$. 5. Viteza de solicitare între 0,1—1,0 [MPa/s] 6. Se vor încerca minimum 10 epruvete pentru o rocă (de preferință mai multe) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pregătirea epruvetelor este aceeași ca și la compresiune, cu excepția că $\lambda > 2$. 2. Epruvetele se vor prinde de platane cu cimenturi de natură epoxi. 3. Viteza de solicitare 0,1—0,5 [MPa/s] <p><i>Observații</i> În cazul încercării braziliene, epruvetele din punct de vedere geometric se vor prelucra ca și la compresiune. Coeficientul $0,5 \leq \lambda \leq 1,0$.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Numărul minim de epruvete încercate este de 10 sau de preferat mai multe. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diametrul epruvetei de 42 mm și mai mare. 2. Coeficientul de sveltețe $\lambda \geq 2,5$. 3. Confecționarea epruvetelor în mod asemănător cu cele de la compresiune. 4. Viteza de solicitare între 0,1—1,0 [MPa/s] 5. Numărul minim de epruvete încercate de minimum 3 și de preferință mai mare.

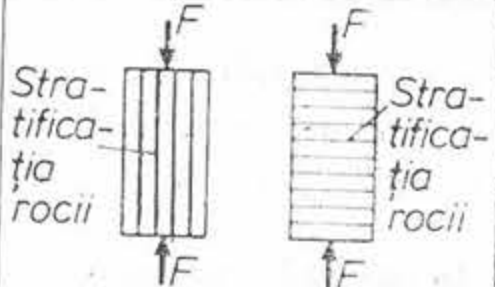
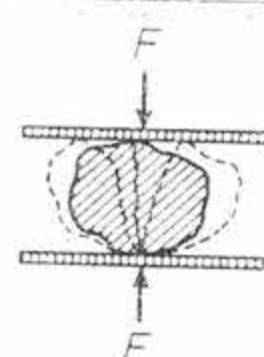
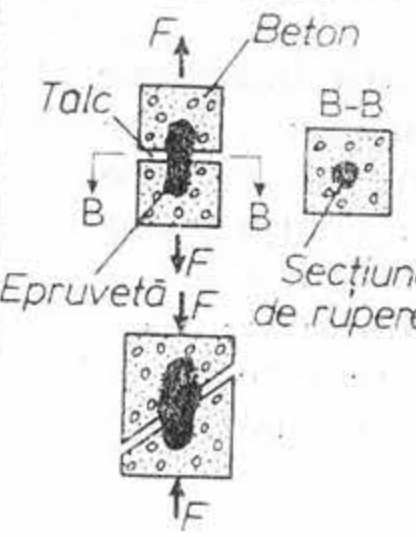
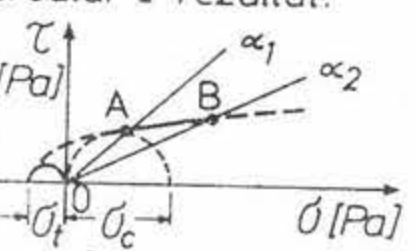
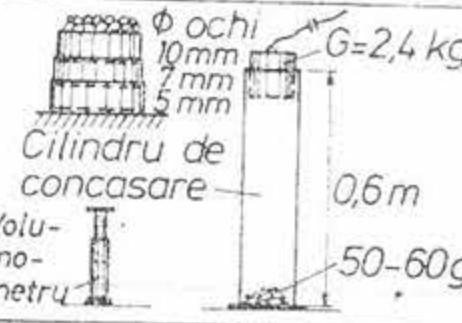
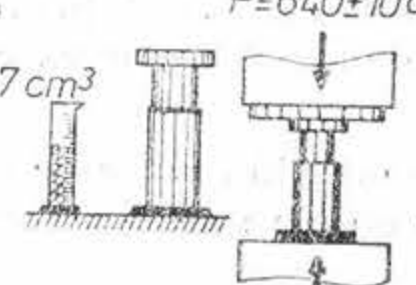

lizată în mod frecvent este metoda braziliană sau prin comprimare a epruvetelor în formă de disc respectiv cilindru, după generatoarele lor. Valoric este cea mai mică dintre rezistențele rocii.

Rezistența de rupere la forfecare monoaxială (τ_f) este tensiunea la rupere produsă de solicitarea la forfecare simplă aplicată pe un plan pe care forța normală este nulă, deci:

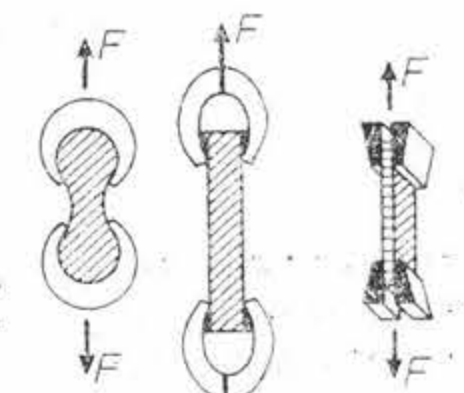
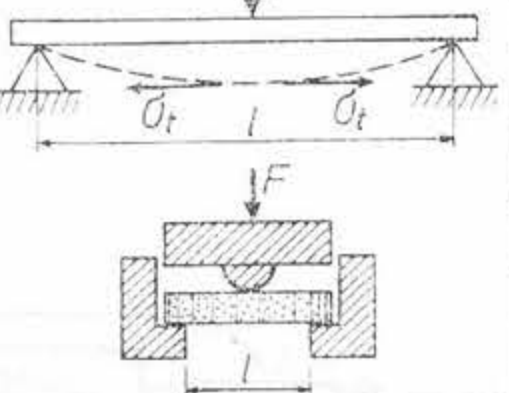
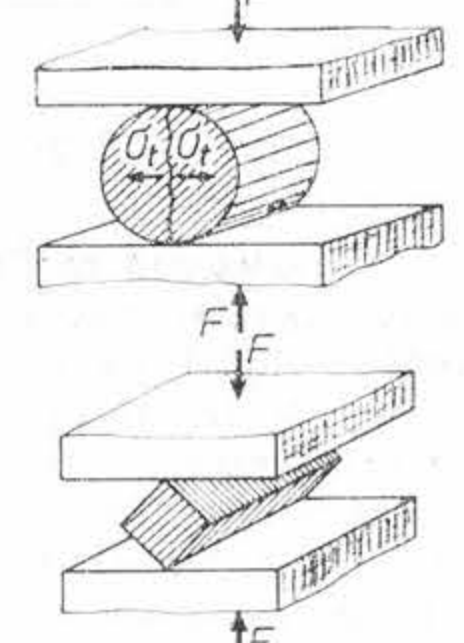
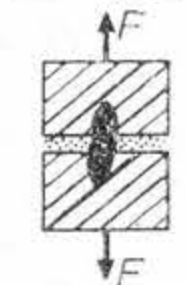
$$\tau_f = \frac{T}{A} \quad [\text{N/m}^2] \text{ sau } [\text{Pa}] \quad (2.12)$$

unde T este forța de forfecare necesară producerii ruperii de-a lungul planului considerat. Pentru rocile semistîncoase și stîncoase procedeul cel mai răspîndit este forfecarea simplă

Tabelul XVI.19 Metode de determinare a rezistenței la compresiune monoaxială

METODA DE DETERMINARE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE MONOAXIALĂ	PRINCIPIUL DE DETERMINARE	CARACTERIZAREA EPRUVETELOR FOLOSITE	RELAȚII DE DETERMINARE A REZISTENȚEI DE RUPERE LA COMPRESIUNE MONOAXIALĂ
Pe epruvete de formă geometrică regulată supuse unei solicitări la compresiune.		Cuburi; prisme; cilindri; utilizarea frecventă a formelor cilindrice cu dimensiuni: $1,5 < \lambda \leq 3$	$\sigma_c = \frac{F}{A}$ [N/m ²] sau [Pa]
Pe epruvete de formă geometrică neregulată supuse unei solicitări la compresiune.		Forma epruvetei: neregulată, cioplită aproximativ sferică, cu un volum de cca 100 cm ³ (caz în care efectul de scară nu are influență asupra rezultatelor).	$\sigma'_c = \frac{F}{A}$, unde: $A = \sqrt[3]{\frac{F}{\sigma_c}} = 0,92 \sqrt[3]{V^2} = \sqrt[3]{V^2}$ $\sigma'_c = F \left(\frac{1}{V}\right)^{\frac{2}{3}} = F \left(\frac{\sigma_c}{G}\right)^{\frac{2}{3}}$ $\sigma'_c = F \left(\frac{\sigma_c}{G}\right)^{0,67}$ [N/m ²] sau [Pa] G - greutatea epruvetei încercate
Pe epruvete de formă geometrică neregulată supuse solicitărilor la tracțiune și forfecare, rezultate din care se determină grafic rezistența de rupere la compresiune.		Epruvete de formă neregulată încasurate în calupuri de beton de formă regulată.	Se folosesc relațiile înfășurătoare de tip cicloidal. Rezistența la compresiune este diametrul cercului I rezultat.  $\sigma_1 = \frac{F}{A}$; $\sigma_2 = \frac{F}{A}$; $\tau = \frac{F}{A}$ A - suprafața determ. prin planimetrare sau metoda cîntării
Pe epruvete de formă geometrică neregulată prin:		Epruvetele utilizate sînt probele colectate din frontul de lucru (cu dimensiuni mai mari de 10 mm și o cantitate de cca. 40-60g).	$f = \frac{20n}{h}$ (n=3 sau 5) h - înălțimea citită pe volumometru corespunzătoare lui n; n - numărul de căderi ale greutății G; $f = \frac{C_g - 2}{7,5}$, unde: $C_g = 92/q$; q = $100 \cdot G_2/G_1$ [%] 92 - efortul specific maxim produs în instalația de sfărîmire-concasare [N/m ²]; q - cantit. procentuală de praf; C _g - coeficient de rezistență
Concasare dinamică		Probe colectate din frontul de lucru (cu dimensiuni cuprinse între 5-7 mm)	
Concasare statică			

Tabelul XVI.20 Metode de determinare a rezistenței de rupere la tracțiune monoaxială

METODA DE DETERMINARE	PROCEDEUL DE DETERMINARE	REPREZENTAREA GRAFICĂ	RELAȚIA DE CALCUL
Încercări prin solicitare la tracțiune	Solicitarea la tracțiune a epruvetelor de formă specială: - pișcot; - bară; - placă		$\sigma_t = \frac{F}{A}$ [N/m ²] sau [Pa] F - forța de solicitare; A - secțiunea transversală a epruvetei
Încercări prin solicitare la încovoiere	Solicitarea la încovoiere a epruvetelor de formă: - prismatică; - cilindrică; - discoidală		$\sigma_t = -\frac{3(1+\mu)F}{2\pi h} \left[\frac{1}{1+\mu} + \log_e \frac{r_d}{r_p} - \frac{1-\mu}{1+\mu} \frac{r_p^2}{4r_d^2} \right]$
Încercări prin solicitare la compresiune	Procedeul brazilian: - Compresiunea diametrală a cilindrilor - Compresiunea după diagonală a prismelor		$\sigma_t = \frac{2F}{\pi d h}$ [N/m ²] sau [Pa]
Încercări prin solicitare la tracțiune	Solicitarea la tracțiune		$\sigma_t = \frac{F}{A}$ [N/m ²] sau [Pa]

cu ajutorul matritelor oblice (fig. XVI.25). Procedul se poate generaliza pentru orice forme de epruvete—regulate și neregulate. Încercarea se realizează la diferite unghiuri, în raport cu direcția de solicitare la compresiune. Relațiile de calcul sînt :

$$\sigma_f = \frac{F}{A} \cdot \sin \alpha$$

$$\tau_f = \frac{F}{d \cdot h} \cos \alpha$$

[N/m²] sau [Pa] (2.13)

În cazul rocilor elastice, a rocilor slab coezive (pămînturi, roci argiloase etc.), determinarea rezistenței la forfecare se realizează prin *procedeul casetelor de forfecare* (fig. XI.26). Rezistența la forfecare a rocilor se situează între limitele : $\sigma_c > \tau_f > \sigma_t$.

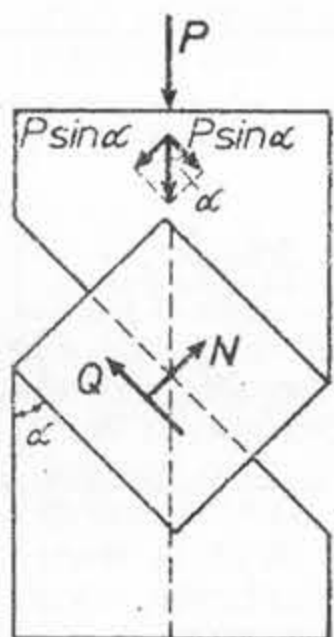


Fig. XVI.25. Matrită de forfecare.

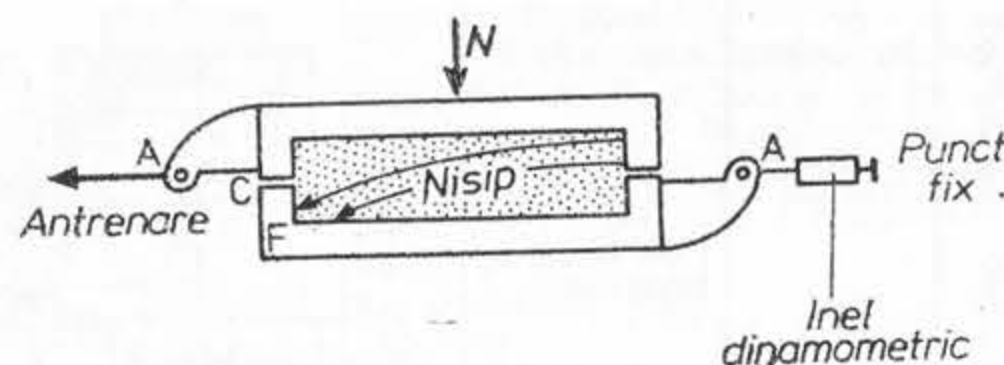


Fig. XVI.26. Casete de forfecare.

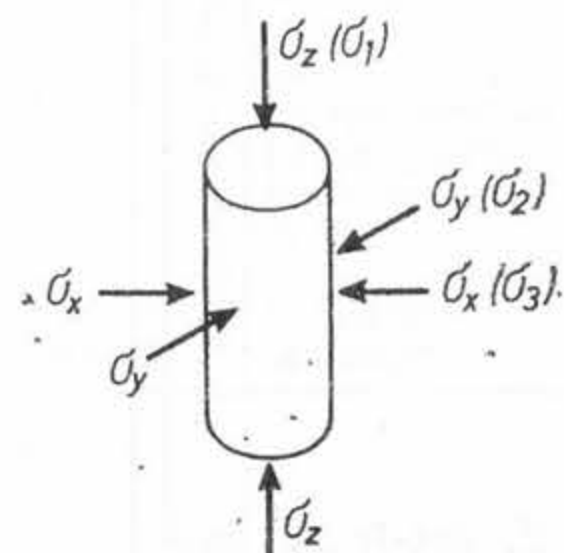


Fig. XVI.27. Definirea solicitării triaxiale.

Echipamentul necesar solicitării este redat schematic în fig. XVI.28. Practic cel mai ușor de realizat este încercarea de tip axial simetric. Epruveta, sub formă cilindrică, cu $\lambda = 2-3$, învelită într-o membrană de cauciuc, este introdusă într-o celulă triaxială (fig. XVI.29). În fluidul ce umple celula se creează o presiune hidrostatică ($\sigma_1 = \sigma_2$), iar prin intermediul pistonului poate fi aplicată o forță ce creează efortul σ_3 . Starea de

Rezistența rocilor la încercări poliaxiale. Încercările la solicitări statice poliaxiale sînt de o extremă importanță în stabilirea unui comportament real, heterogen al rocilor. Dintre încercările poliaxiale, importanță pentru domeniul minier este solicitarea triaxială, a cărei definire rezultă din fig. XVI.27. În general, ea poate fi realizată prin diferite tipuri de solicitări: compresiune, tracțiune, forfecare, răsucire etc. Indiferent de tipul de solicitare, încercarea triaxială se poate diferenția în :

- încercare cubică, cînd $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ sau $(\sigma_x \neq \sigma_y \neq \sigma_z)$;
- încercare cilindrică sau axial simetrică, cînd $\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$, respectiv $(\sigma_x = \sigma_y \neq \sigma_z)$;
- încercare izotropă sau hidrostatică, cînd $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$, respectiv $(\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z)$.

tensiune ce solicită epruveta este o rezultantă a : (1) tensorului sferic de tensiune $|T_{\sigma_0}| = \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ și (2) deviatorului de tensiune $|D_{\sigma}| = \sigma_3 - \sigma_1$. Încercarea se desfășoară în două etape : prima, în care se aplică tensorul sferic $|T_{\sigma_0}| = \sigma_1$ și a doua etapă, în care se mărește continuu deviatorul $|D_{\sigma}|$, pînă ce are loc ruperea epruvetei. Elementele ce trebuie măsurate în timpul încercării sînt : deplasările și variațiile de volum ale epruvetei. Dintre tipurile de încercări precizate, tipul cubic oferă însă indiciile cele mai prețioase și reale referitoare la modul de deformare. Asemenea încercări întîmpină însă greutăți în ceea ce privește realizarea unor instalații corespunzătoare.

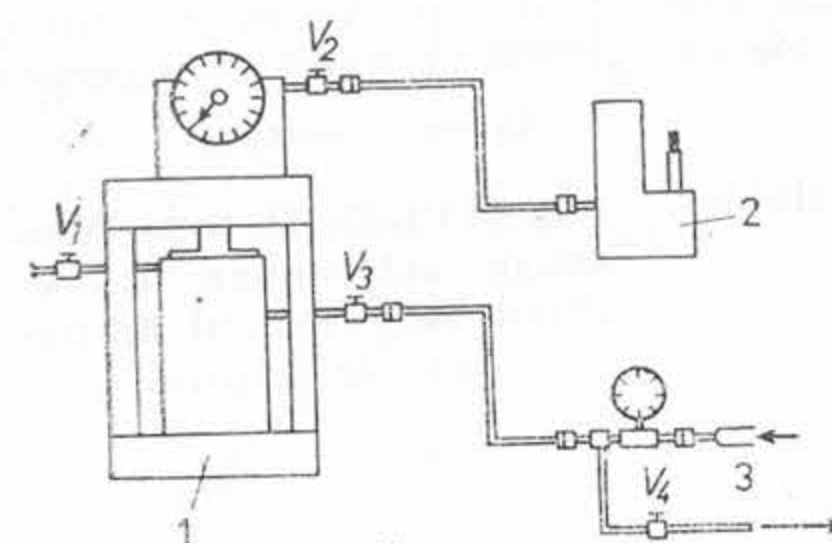


Fig. XVI.28. Echipamentul necesar solicitării triaxiale :

1 — presă hidrolică ; 2 — pompă hidrolică pentru solicitarea axială ; 3 — pompă hidrolică pentru solicitarea laterală.

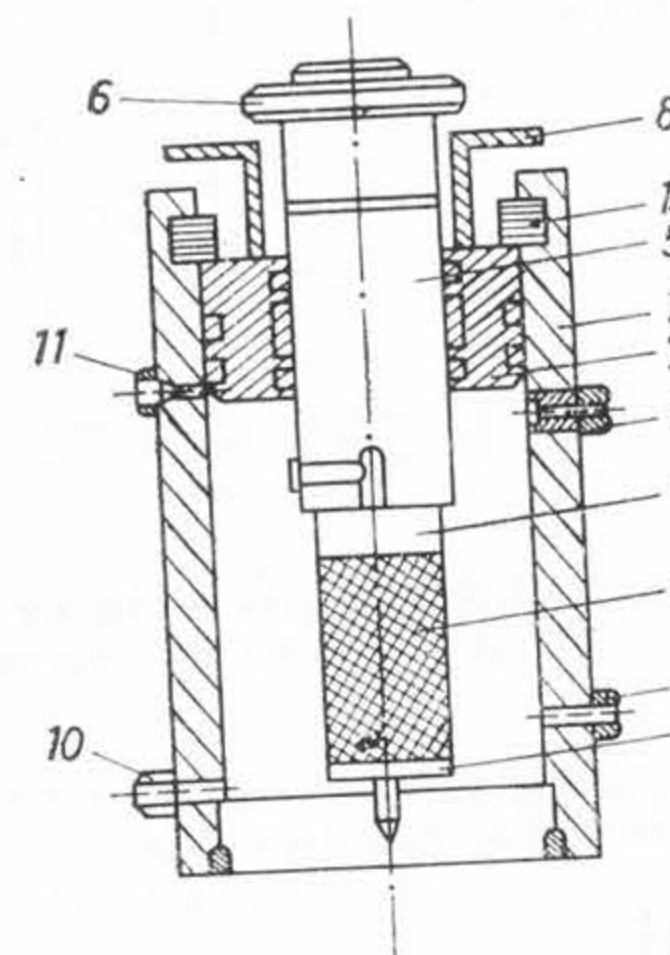


Fig. XVI.29. Celulă triaxială : 1 — cilindru ; 2-4 — suport inferior și superior ; 3 — eșantion de rocă ; 5 — piston de solicitare ; 6 — guler pentru delimitare ; 7 — piston pentru etanșare ; 8 — minier ; 9-12 — orificii pentru legarea aparatului cu aparatura de control ; 13 — inel de siguranță.

Coeziunea și unghiul de frecare interioară. Forța de legătură dintre particulele solide ale unei roci și care se opune la acțiunea de desprindere sau de alunecare produsă de solicitări exterioare se numește *coeziunea rocii* și se notează cu c . Ea poate fi reală și aparentă. Are dimensiunile unei tensiuni și se măsoară în N/m² sau Pa. *Unghiul de frecare interioară* este unghiul a cărui tangentă trigonometrică reprezintă coeficientul de frecare interioară dintre particulele rocii, adică $\mu_1 = \tan \varphi$.

Cantitativ, coeziunea și unghiul de frecare interioară se determină experimental prin o serie de metode. Metodele de determinare s-au diversificat în funcție de tipul solicitării. Astfel, *metoda Mohr* (fig. XVI.30) și *metoda Winkel* utilizează, pentru determinarea coeziunii și a unghiului de frecare interioară, valorile rezistențelor la compresiune și la tracțiune monoaxială (σ_c și σ_t) (fig. XVI.31).

Încercarea la forfecare monoaxială, în baza criteriului de rupere a lui *Coulumb* efectuată la diferite unghiuri de forfecare (pentru roci stincoase cu utilizarea matritelor oblice), (fig. XVI.32) sau la diferite forțe normale N (pentru roci argiloase cu utilizarea casetelor orizontale sau verticale de forfecare), (fig. XVI.33) constituie un procedeu de determinare a coeziunii și a unghiului de frecare interioară.

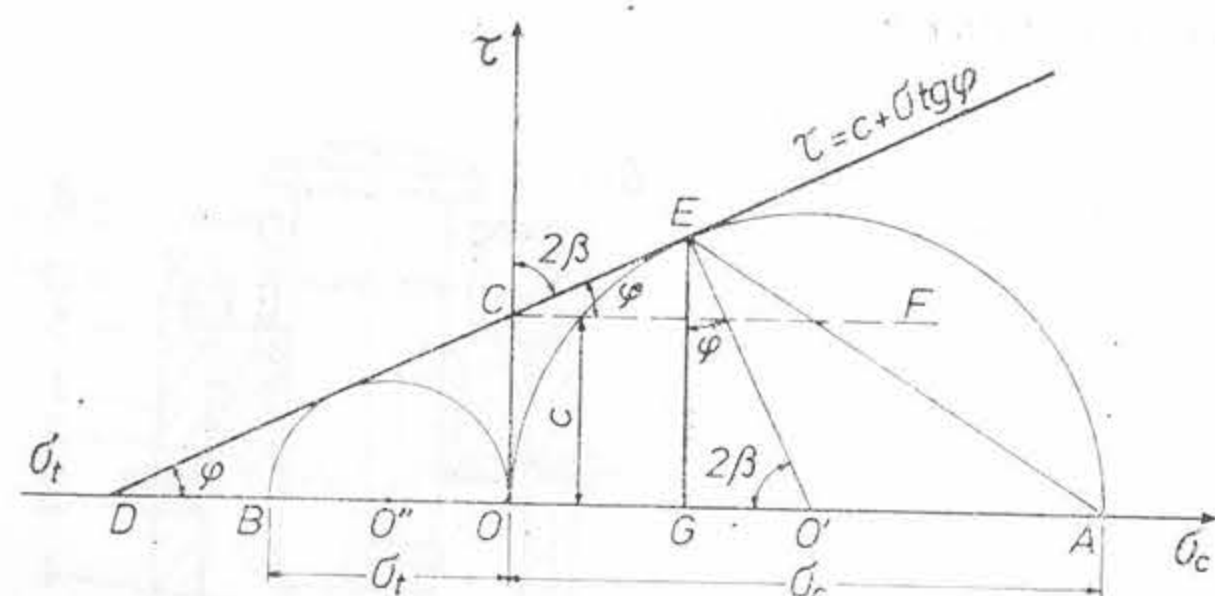


Fig. XVI.30. Metoda Mohr de determinare a coeziunii și unghiului de frecare interioară.

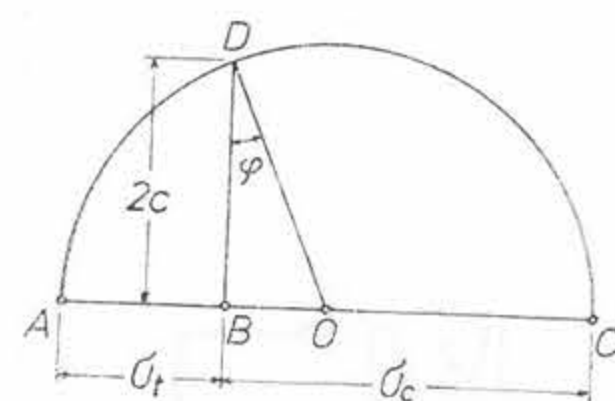


Fig. XVI.31. Metoda Winkel de determinare a coeziunii și unghiului de frecare interioară.

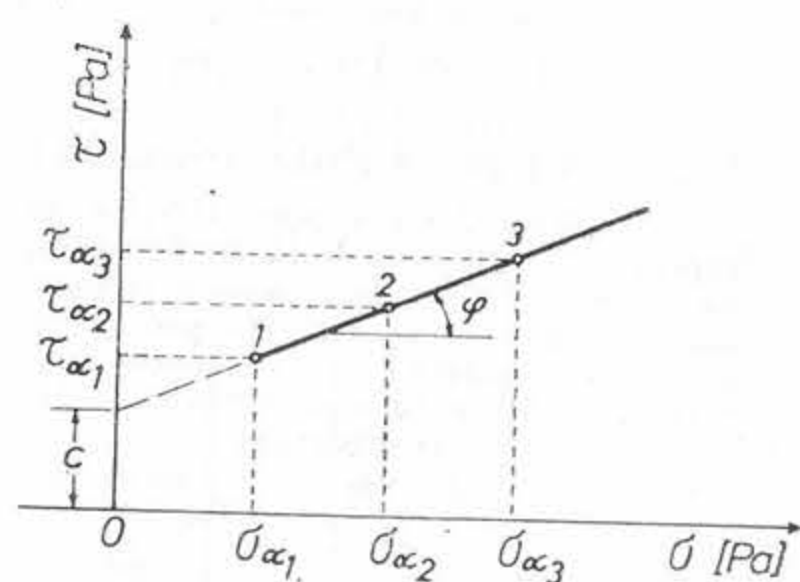


Fig. XVI.32. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin forfecare a rocilor stincoase.

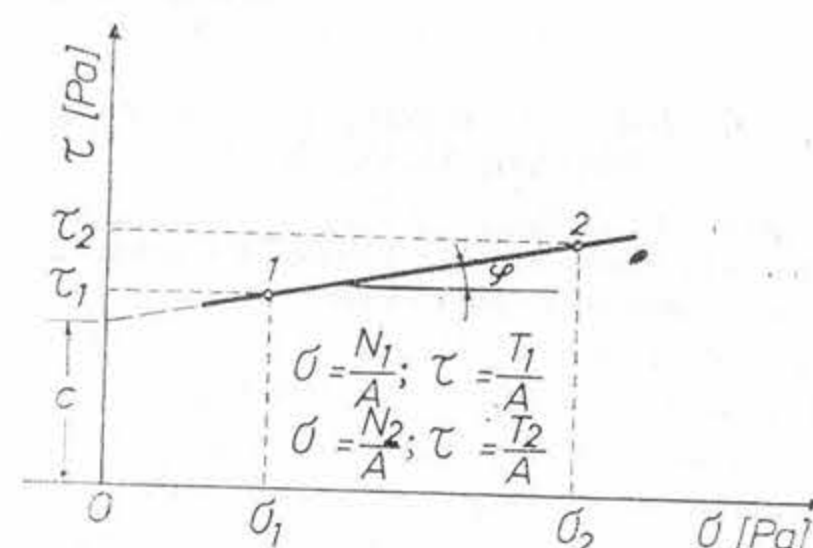


Fig. XVI.33. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin forfecare cu casete (roci moi).

Încercarea triaxială constituie și ea o metodologie de determinare a rezistenței rocii ce se finalizează prin determinarea coeziunii și a unghiului de frecare interioară, fie folosind criteriul de rupere *Mohr-Coulumb* (fig. XVI.34), fie utilizând înfășurătoarea tip cicloidă (fig. XVI.35), fie cea parabolică (fig. XVI.36).

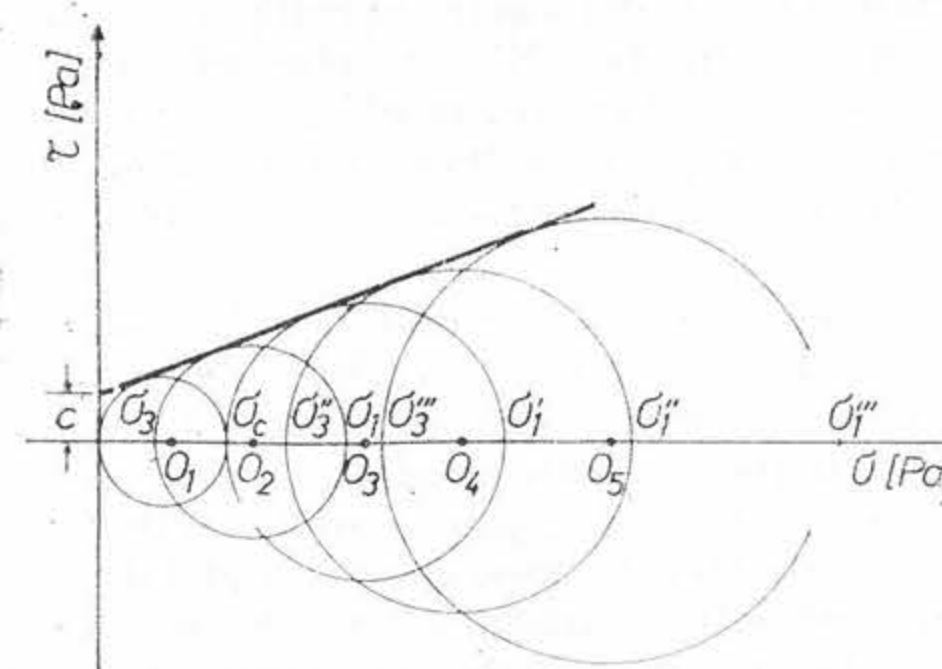


Fig. XVI.34. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin încercare triaxială utilizând criteriul Coulomb-Mohr.

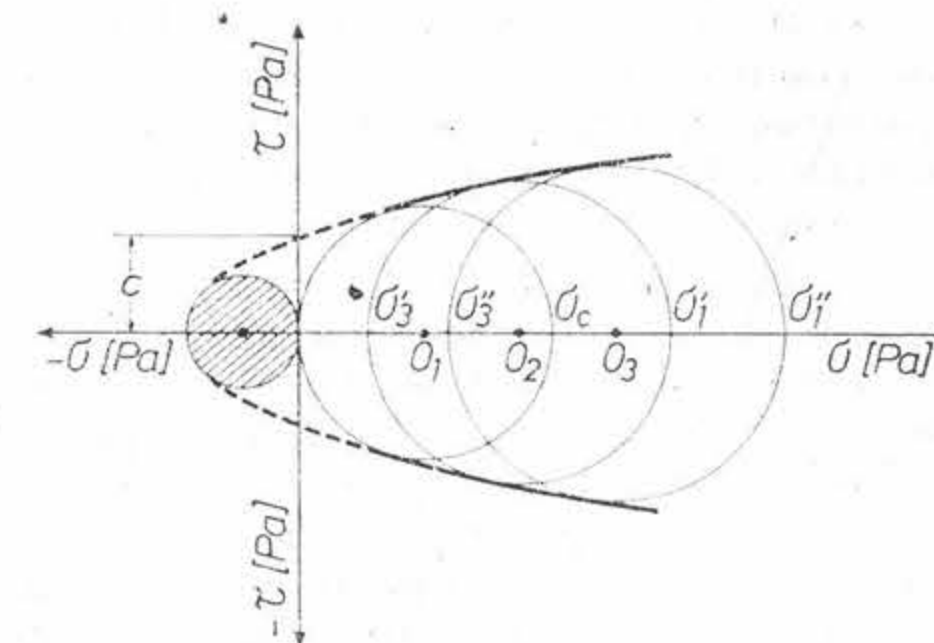


Fig. XVI.35. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară utilizând cicloida.

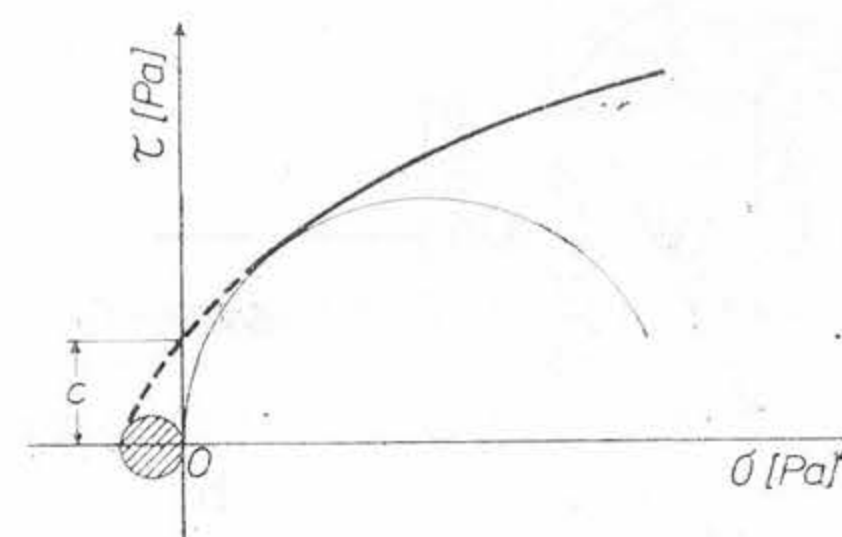


Fig. XVI.36. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară utilizând înfășurătoarea parabolică.

2.4. CARACTERISTICI ELASTICE

Indiferent de tipul rocii, fiecare, în cazul unei solicitări, prezintă un anumit comportament mai mult sau mai puțin elastic. Pentru un astfel de domeniu de solicitare $\sigma < \sigma_e$ (unde σ_e este limita comportamentului elastic), experiența confirmă posibilitatea aplicării legii fizice constitutive corespunzătoare mediilor ideal elastice — *legea lui Hooke*. Deci elasticitatea este o proprietate a rocilor în măsura în care acestea pot fi asimilate cu materialele ideale. Proprietățile ce caracterizează comportamentul elastic al rocilor sînt: curba caracteristică tensiune-deformare ($\sigma - \epsilon$); efortul la limita elastică; modulul de elasticitate E ; coeficientul (μ) sau constanta lui *Poisson* (m). Aceste caracteristici se pot determina atât prin solicitări statice cît și prin solicitări dinamice.

Curba tensiune-deformare constituie o evidențiere experimentală a comportamentului sub sarcină a rocilor, exprimată prin raportul ce există între tensiuni și deformări.

Prin aplicarea unui efort (forță pe unitatea de suprafață) asupra unei epruvete de rocă, aceasta se va deforma. Înainte de a analiza comportamentul la deformare a unui

material real (roca), se vorreda câteva considerente teoretice referitoare la deformarea unui material idealizat sau ipotetic. Comportamentul la deformare rezultă din analiza curbei tensiune-deformare $\sigma - \varepsilon$. Diagrama $\sigma - \varepsilon$ din fig. XVI.37 corespunde unui material perfect elastic, adică acel material care respectă legea lui Hooke $\sigma = E \cdot \varepsilon$, unde constanta de proporționalitate E este modulul lui Young sau modulul de elasticitate. Nici un material real nu este perfect elastic; cu toate acestea, rocile magmatice se apropie de un asemenea comportament.

Modelul mecanic pentru un astfel de comportament este un resort. Un material perfect plastic nu se va deforma dacă efortul ce îl soliciță este mai mic decât σ_0 . El se va deforma în mod permanent dacă $\sigma = \sigma_0$ și nu va suporta un efort dacă $\sigma > \sigma_0$ (fig. XVI.38 a). Modelul mecanic pentru un material perfect plastic este patina (fig. XVI.38, b). Un material elasto-plastic este liniar-elastic până la o valoare a tensiunii $\sigma \leq \sigma_0$ și plastic pentru $\sigma = \sigma_0$ (fig. XVI.38, c). Modelul mecanic al unui astfel de comportament este un arc legat în serie cu o patină. Curba tensiune-deformare din fig. XVI.6 (cap. I) reprezintă un material care este liniar-elastic până la valoarea tensiunii $\sigma = \sigma_e$ (punctul b). Peste acest nivel $\sigma_1 > \sigma_e$ materialul este neelastic, adică deformația nu mai este proporțională cu efortul. Punctul b până la care deformațiile sînt proporționale cu eforturile, iar în momentul înlăturării efortului deformațiile se anulează sau aproape dispar se numește *punct elastic*, iar tensiunea corespunzătoare se numește *efort la limita elastică* (σ_e).

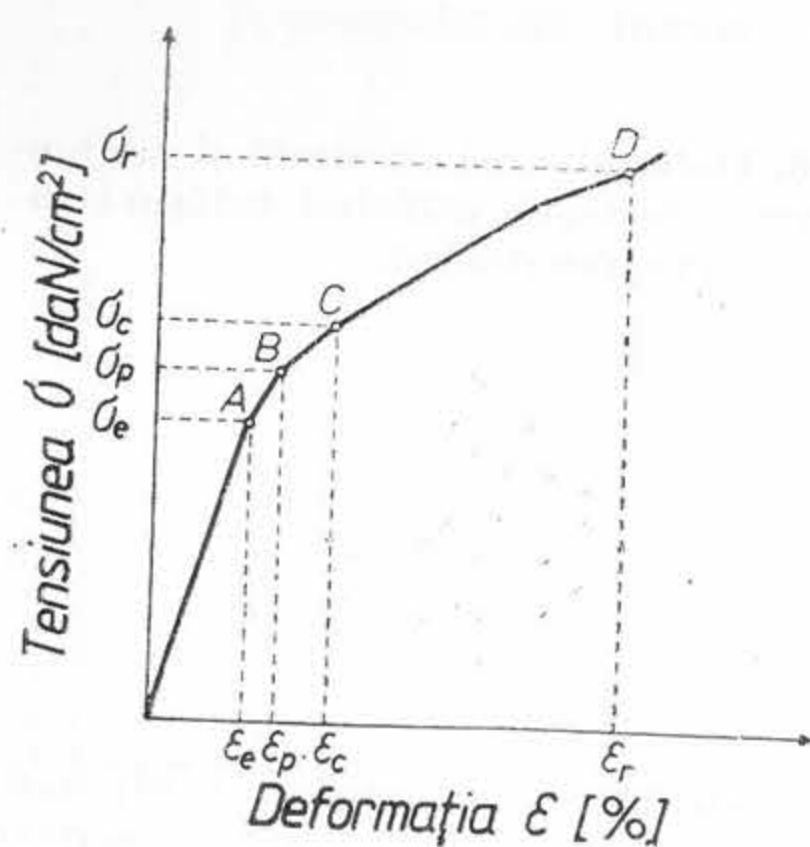


Fig. XVI.37. Curba caracteristică tensiune-deformare.

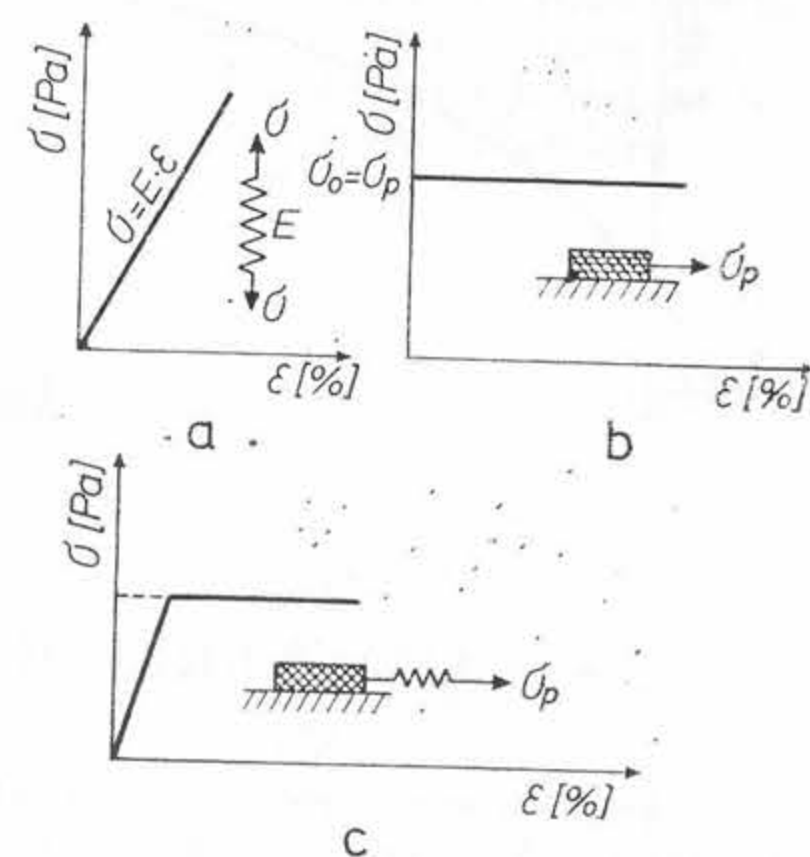


Fig. XVI.38. Comportament de deformare:

a - elastic; b - plastic; c - elasto-plastic.

Experimental și cu totul convențional, astăzi se consideră ca limită elastică efortul unitar normal σ_e (N/m²) pentru care deformația longitudinală remanentă a rocii nu depășește valoarea 0,03% (adică $\varepsilon_{lr} < 0,03\%$). În domeniul convențional, stabilit $0 < \varepsilon_{lr} < 0,03\%$ se consideră că rocile se comportă elastic. Dacă se înlătură o solicițare dată de un efort $\sigma_2 > \sigma_e$ (punctul c de pe curbă) și deformația ε nu se anulează sau este apreciazabilă, atunci materialul se poate caracteriza printr-o deformație remanentă sau reziduală. Dacă solicițarea este reluată și curba tensiune-deformare este liniară (sau aproximativ

lineară) din b_1 până în d, punct după care epruveta se va rupe imediat, atunci materialul poate fi încadrat în grupa celor cu comportament la deformare casant (v. fig. XVI.6). Dacă însă efortul de solicițare poate să crească peste σ_3 și materialul va continua să se deformeze neelastic până la rupere, atunci asemenea materiale pot fi caracterizate din punctul de vedere al deformării ca și ductile, (v. fig. XVI.6). În funcție de alura curbelor de tensiune-deformare roca poate fi caracterizată din punctul de vedere al comportamentului la deformare (fig. XVI.39).

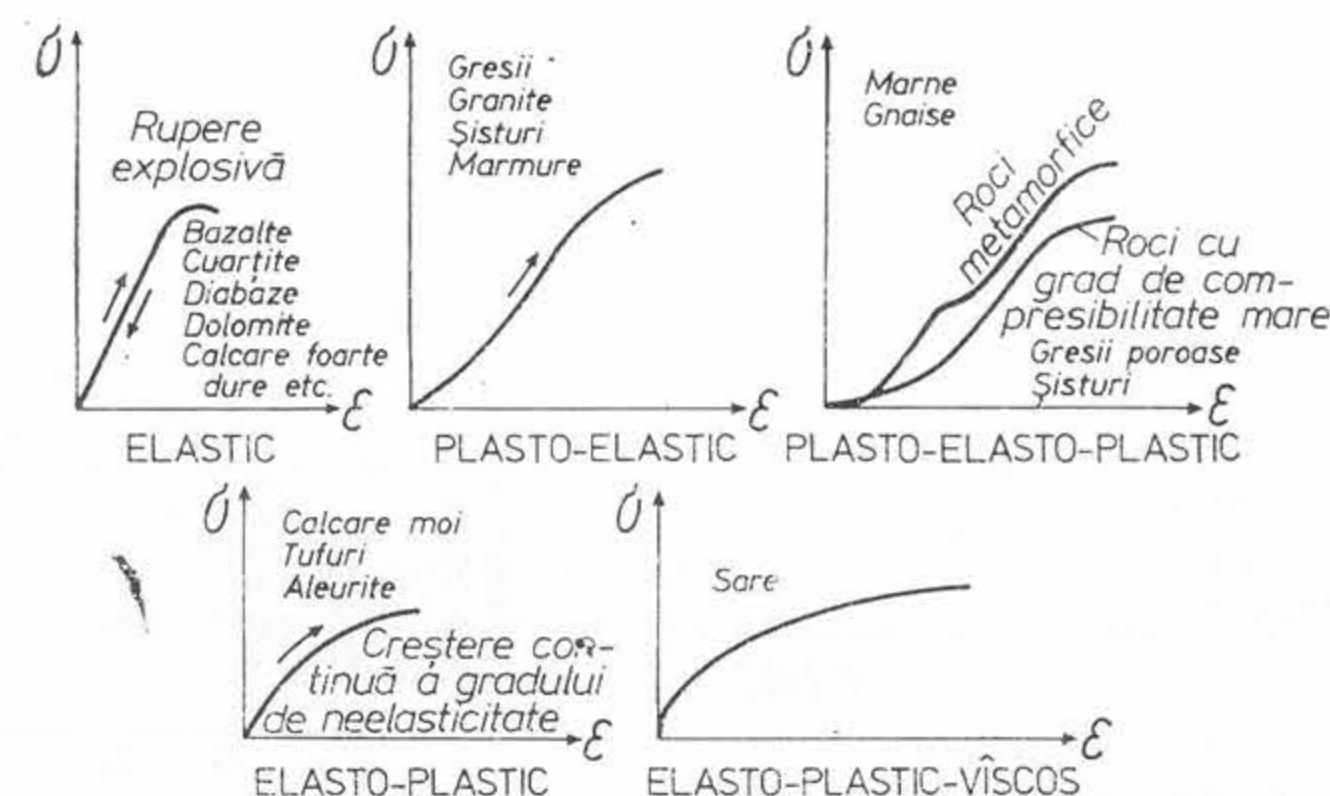


Fig. XVI.39. Tipuri de curbe caracteristice.

Modulul de elasticitate E ; coeficientul μ sau constanta m a lui Poisson la încercări statice. Modulul de elasticitate poate fi definit ca modul tangent sau ca modul secant (fig. XVI.40). Valoarea tangentei la curba caracteristică în punctul considerat pe porțiunea delimitată de efortul σ_e se numește *modul de elasticitate tangent* adică:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{m}{n} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.14)$$

unde: raportul m/n reprezintă raportul scărilor utilizate la reprezentare. Modulul de elasticitate secant, E_s , este definit ca raportul dintre valoarea efortului până la limita elastică și deformația corespunzătoare, adică:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.15)$$

(fig. XVI.40). Modulul de elasticitate se poate determina fie prin ridicarea curbei caracteristice, fie prin încărcări și descărcări succesive (fig. XVI.41). Ultima metodă o recomandăm deoarece oferă certitudine și posibilitatea de a determina atât efortul la limita elastică cât și coeficientul sau constanta lui Poisson. În cazul acestei metode E și μ (sau m) sînt calculate din măsurarea deformațiilor longitudinale ε_l și a deformațiilor transversale ε_{lr} , cu relațiile (2.14 și 2.15), iar modulul secant:

$$E_s = \frac{\sigma_n - \sigma_{n-1}}{\varepsilon_n - \varepsilon_{n-1}} \quad (2.16)$$

La determinare trebuie respectate următoarele: epruvetă de formă cilindrică cu diametrul minim de 42 mm; coeficientul de sveltețe $\lambda = 2,5$; confecționarea epruvetei în mod asemănător cu aceea prevăzută de încercarea la compresiune (v. tabelul XVI.19); viteza de solicitare de 0,1–1,0 MPa·s; încercarea unui număr minim de trei epruvete pentru un tip de rocă. Măsurarea deformațiilor se poate realiza pe cale mecanică, prin

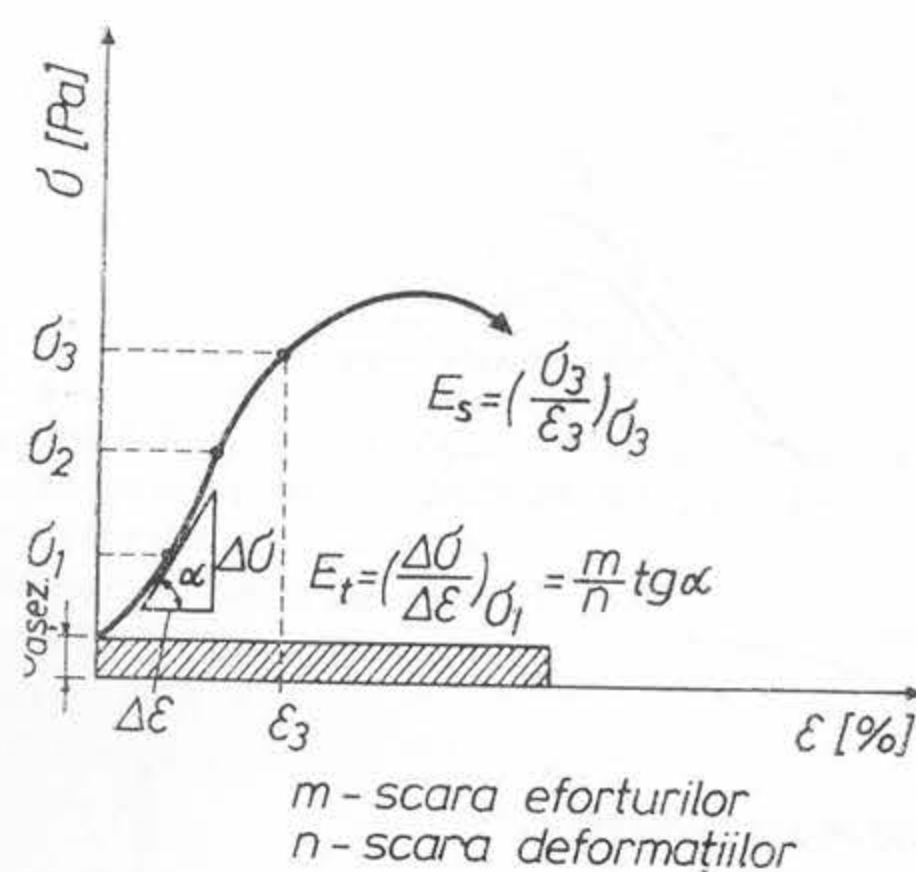


Fig. XVI.40. Definirea modului de elasticitate.

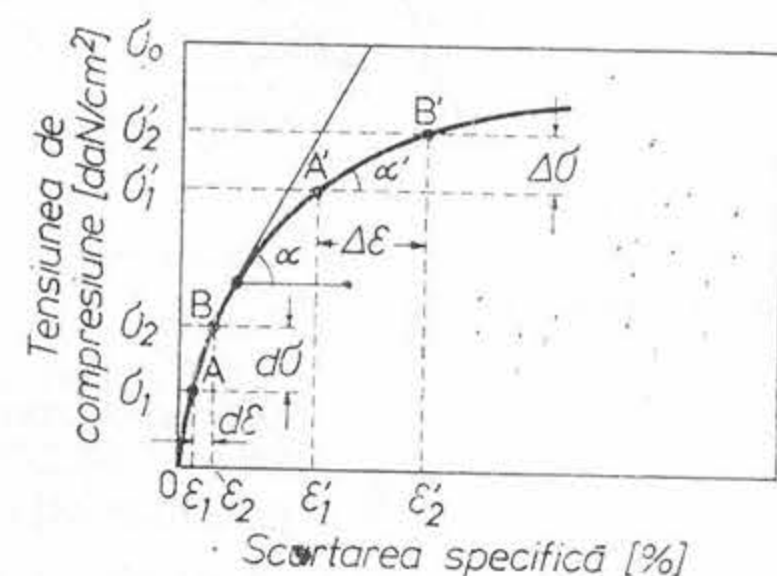


Fig. XVI.41. Determinarea modului de elasticitate.

utilizarea microcomparatoarelor pe cale tensometrică, prin utilizarea timbrelor tensometrice sau prin amplificare electronică cu preluarea datelor și transpunerea lor direct pe calculator, obținând în final valorile parametrilor elastici. Valoric, modulul de elasticitate al rocilor variază între limitele $(0,5 - 12) \cdot 10^2$ MPa până la $(0,1 - 0,5) \cdot 10^5$ MPa. Valorile cele mai scăzute ale modului de elasticitate îl au rocile argiloase sau cu componente argiloși, cărbunii, tufurile poroase, sarea, andezitele puternic alterate etc., iar valorile cele mai ridicate le au rocile de tipul bazaltelor, granitelor, cuarțitelor etc. Domeniul de variație a lui μ sau m este: $0 < \mu \leq 0,5$ sau $2 < m \leq \infty$. În realitate, pentru domeniul elastic coeficientul lui Poisson are valoarea sub 0,2–0,25.

Constantele elastice la solicitări dinamice. Atât în contextul dezvoltării fizicii și al electronicii cât și în baza faptului că rocile se caracterizează prin proprietăți acustice, în ultimul timp s-au creat și dezvoltat metode de determinare a caracteristicilor elastice bazate pe viteza de propagare a undelor elastice. Procedeele utilizate sînt redată în tabelul XVI.21. Toate aceste procedee determină constantele elastice în mod indirect, prin măsurarea vitezelor longitudinale și transversale de propagare a undelor elastice. Cantitativ rezultă că:

$$E_{din} = \gamma_a(p; n) \cdot f(\mu_d) \cdot \frac{V_l}{g} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.17)$$

Tabelul XVI.21

Metode nedistructive de determinare a caracteristicilor mecanice-elastice

Grupa de metode	Metoda	Procedeul	Utilizare
Acustice	Vibrării	vibrării longitudinale vibrării transversale vibrării prin torsiune	Determinarea caracteristicilor elastice
	Impulsului	undelor longitudinale undelor transversale undelor acustice complexe	Determinarea rezistențelor mecanice, a caracteristicilor elastice E_d ; μ_d sau m_d

unde: $\gamma_a(p; n)$ — greutatea specifică aparentă a rocii ca funcție de compoziția mineralogică (p) și de porozitatea (n); $f(\mu_d)$ — o funcție ce depinde de coeficientul dinamic al lui Poisson (μ_d):

$$f(\mu_d) = \frac{(1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)}{(1 - \mu_d)} \quad (2.18)$$

unde:

$$\mu_d = \frac{1 - 2n^2}{2(1 - n)}; \quad n = \frac{V_t}{V_l} \quad (2.19)$$

și deci:

$$E_d = \frac{(1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)}{(1 - \mu_d)} \gamma_a V_l^2 \quad (2.20)$$

sau:

$$E_d = 2(1 + \mu_d) \gamma_a V_l^2 \quad (2.21)$$

Experimental se determină pe epruvete prismatice sau cilindrice, utilizînd modul-metrele cu ajutorul cărora se măsoară timpul necesar (t) pentru ca unda să parcurgă lungimea epruvetei (l). Viteza de propagare poate fi determinată din relația:

$$V_l = \frac{l}{t} \quad [\text{m/s}] \quad (2.22)$$

și modulul de elasticitate prin relația:

$$E_d = V_l^2 \frac{\gamma_a}{g} \quad [\text{N/m}^2] \quad (2.23)$$

Pentru realizarea încercărilor trebuie respectate următoarele condiții :

- lungimea epruvetei să fie $l = 25$ cm și mai mare de cel puțin 2 ori diametrul ei ;
- diametrul epruvetei să fie $d = 2,5$ cm ;
- confectionarea și rectificarea epruvetelor să se realizeze ca și în cazul compresiunii (tabelul II.17) ;
- impulsul trebuie să aibă o lungime de undă mai mică decât (1—5) ori dimensiunea laterală a epruvetei ;
- pentru o rocă este necesară una sau mai multe încercări.

Aparatura de solicitare poate fi monoaxială sau triaxială. Constantele elastice se pot determina și *in situ*, prin încercări seismice. Impulsurile seismice sînt create în masiv prin impact mecanic sau prin intermediul explozivilor.

2.5. CARACTERISTICI REOLOGICE

Reologia studiază deformarea materialelor și implicit a rocilor sub efectul eforturilor ce le sînt aplicate, ținînd cont de variația acesteia în timp. Importanța hotărîtoare a cercetărilor mecanicii rocilor în domeniul tehnico-minier se realizează pe deplin numai prin abordarea reologică a masivului de rocă. Astăzi în reologie se disting două direcții mari de cercetare : (1) reologia liniară ; (2) reologia neliniară. Indiferent de direcția de cercetare, reologic, o rocă poate fi studiată fie sub aspectul fenomenului de fluaj :

$$f(\sigma_0, t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} \quad (2.24)$$

adică deformare continuă sub sarcină constantă, sau de relaxare :

$$r(\varepsilon_0, t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} \quad (2.25)$$

adică scăderea continuă a eforturilor pentru o deformare constantă. Fenomenele de fluaj sau relaxare se pot reprezenta prin funcții simetrice și, ca urmare, cunoașterea parametrilor de fluaj creează posibilitatea caracterizării rocii și ca relaxare, deci reologic. Pe baza diferitelor date experimentale s-a reușit redarea unei curbe teoretice de fluaj sau deformare în timp (fig. XVI.42) și care analitic corespunde expresiei generale de forma :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1(t) + \dot{\varepsilon} \cdot t + \varepsilon_3(t) \quad (2.26)$$

unde : ε_0 este deformarea elastică instantanee ;

$\varepsilon(t)$ — fluajul primar sau tranzitoriu (domeniu I de deformare) ;

$\dot{\varepsilon} \cdot t$ — fluajul permanent, secundar sau stabil (domeniul II de deformare) ;

$\varepsilon_3(t)$ — fluajul terțiar sau accelerat (domeniul III de deformare).

Pentru a facilita studiul comportamentului de deformare în timp, s-a recurs la utilizarea unor scheme în comportare simple ușor exprimate în limbaj matematic (modelare analogică), denumite *modele mecanice simple* (tabelul XVI.22). Comporta-

mentul reologic liniar al rocilor poate fi redat prin considerarea diferitelor combinații (tip serie, paralel sau mixt) ale modelelor simple.

Rezolvarea unor probleme ca cele legate de stabilitatea lucrărilor miniere la zi și n subteran precum și a regimului de presiune minieră în contextul interacțiunii cu susți-

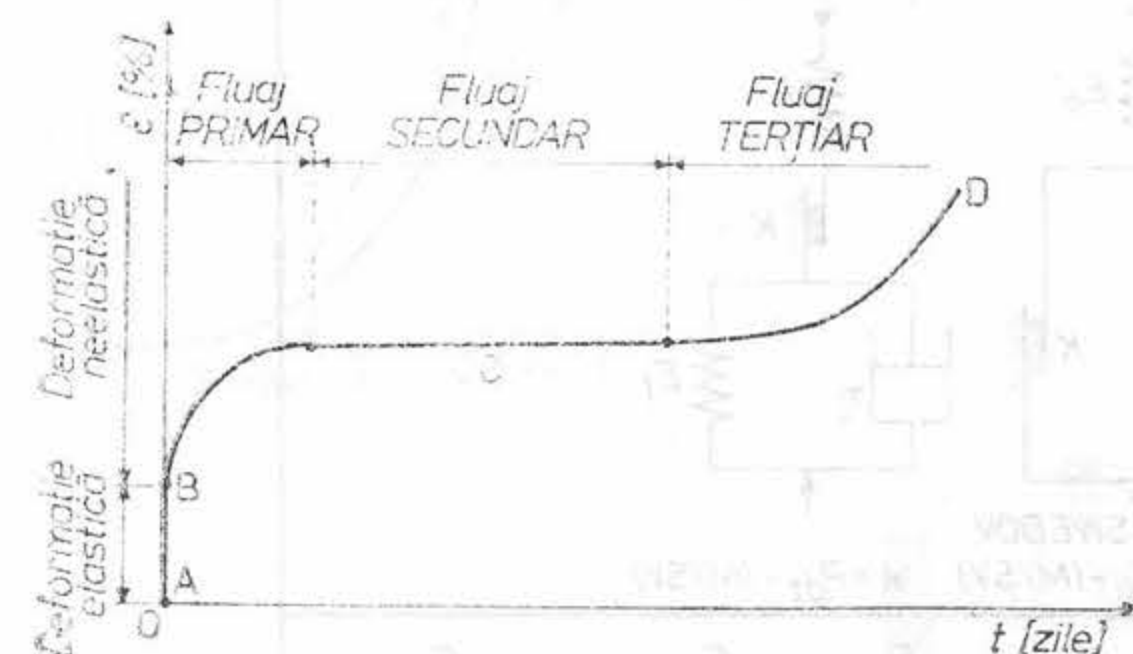


Fig. XVI.42. Curba teoretică de fluaj.

Tabelul XVI.22. Modele mecanice simple utilizate în reologia rocilor

CORPUL	MODELUL REOLOGIC	ECUAȚIA MODELULUI
ELASTOVISCOS (Maxwell) $M = H \cdot N$		$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} \left[1 + \frac{E_1}{\eta_1} t \right]$
RIGID-VISCOS (Kelvin) $K = H/N$		$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_2} \left[1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t} \right]$
VISCO-ELASTIC (Burgers) $Bu = M \cdot K$		$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1} \left[1 + \frac{E_1}{\eta_1} t \right] + \frac{\sigma}{E_2} \left[1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t} \right]$

nerea reclamă necesitatea utilizării modelelor neliniare (fig. XVI.43). Asemenea modele prezintă dificultăți mari în calculul lor și care se reduc în cazul utilizării calculatoarelor și a metodelor numerice de integrare.

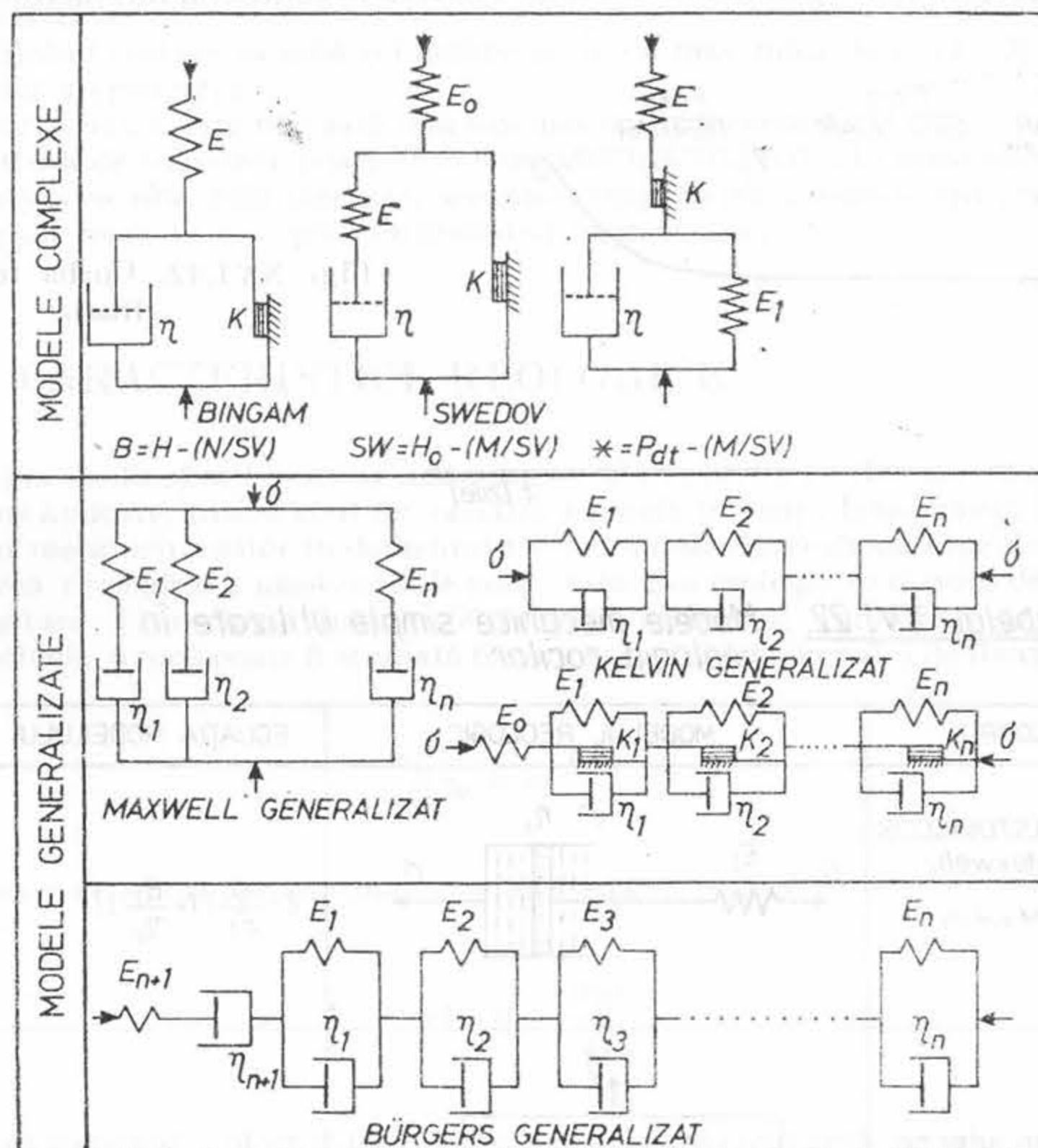


Fig. XVI.43. Modele neliniare reologice.

Caracterizarea reologică a unei roci sau substanțe minerale utile se realizează prin determinarea curbei caracteristice de fluaj și relaxare, iar funcție de comportament se stabilesc parametrii reologici corespunzători: modulul de elasticitate reologic; coeficientul de vîscozitate; parametrii plastici de comportare; timpul de întîrziere T_{int} ; timpul de relaxare T_{rel} gradul de solicitare $\Delta = \frac{\sigma_0}{\sigma_r}$; viteza de deformare $\dot{\epsilon}$; corelația dintre viteza de deformare și gradul de solicitare (fig. XVI.44) etc.

Studierea comportamentului reologic al rocilor se poate realiza pe cale de laborator și *in situ*. În laborator solicitarea în timp se realizează cu ajutorul instalațiilor de tip hidrolic (fig. XVI.45) sau mecanic (fig. XVI.46), folosind epruvete de rocă pregătite în conformitate cu solicitarea realizată: compresiune, tracțiune sau forfecare (tabelul XVI.18).

Fig. XVI.44. Corelația dintre viteza de deformare și gradul de solicitare.

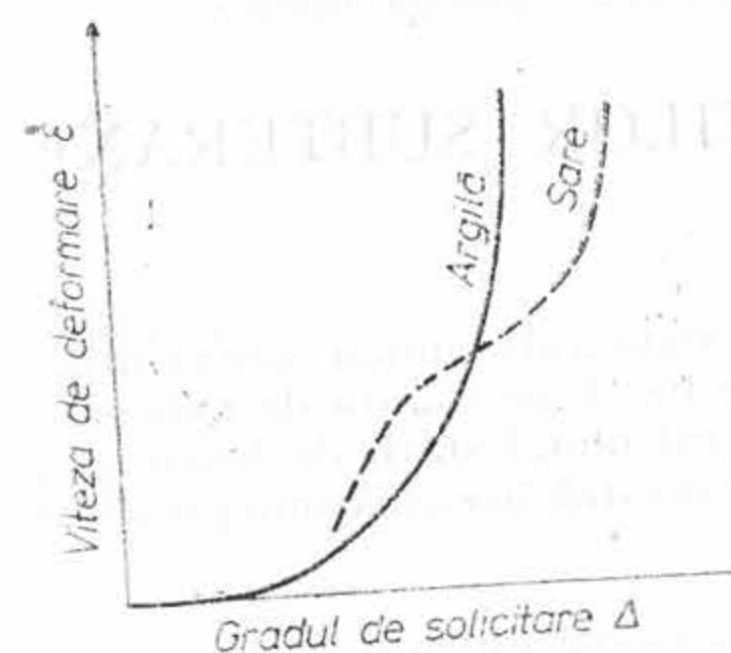


Fig. XVI.45. Instalație hidrolică pentru încercări reologice.

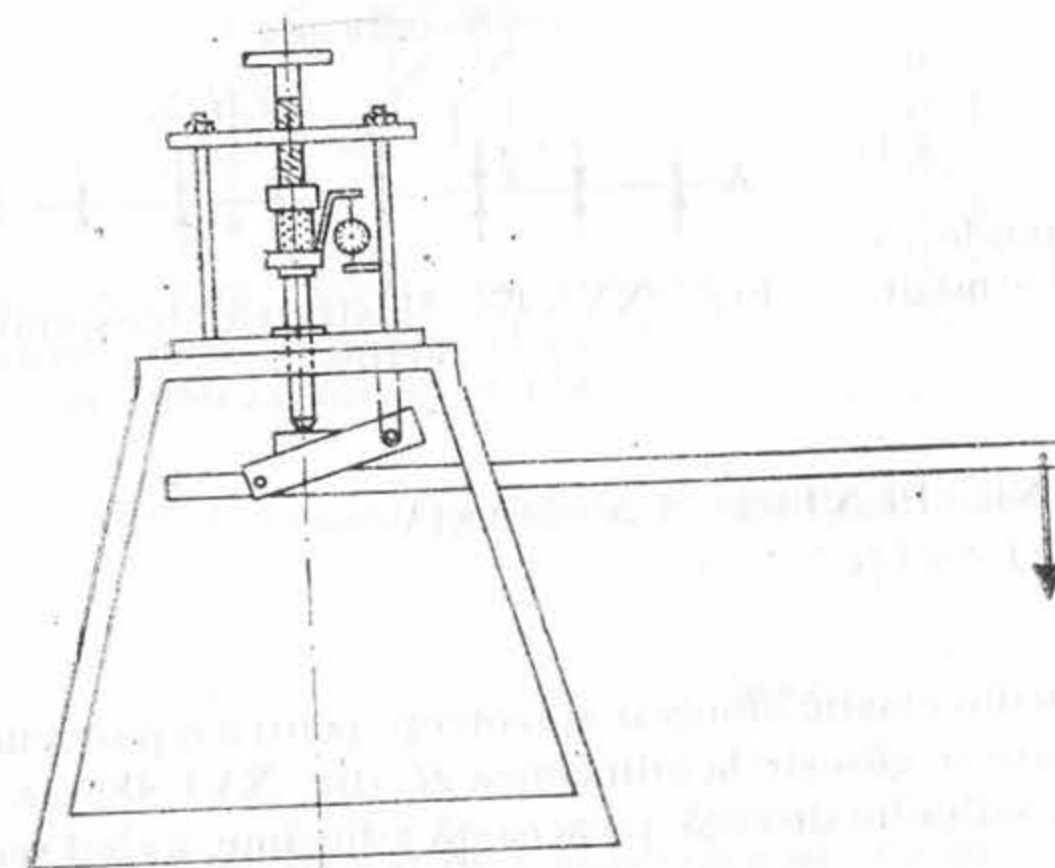
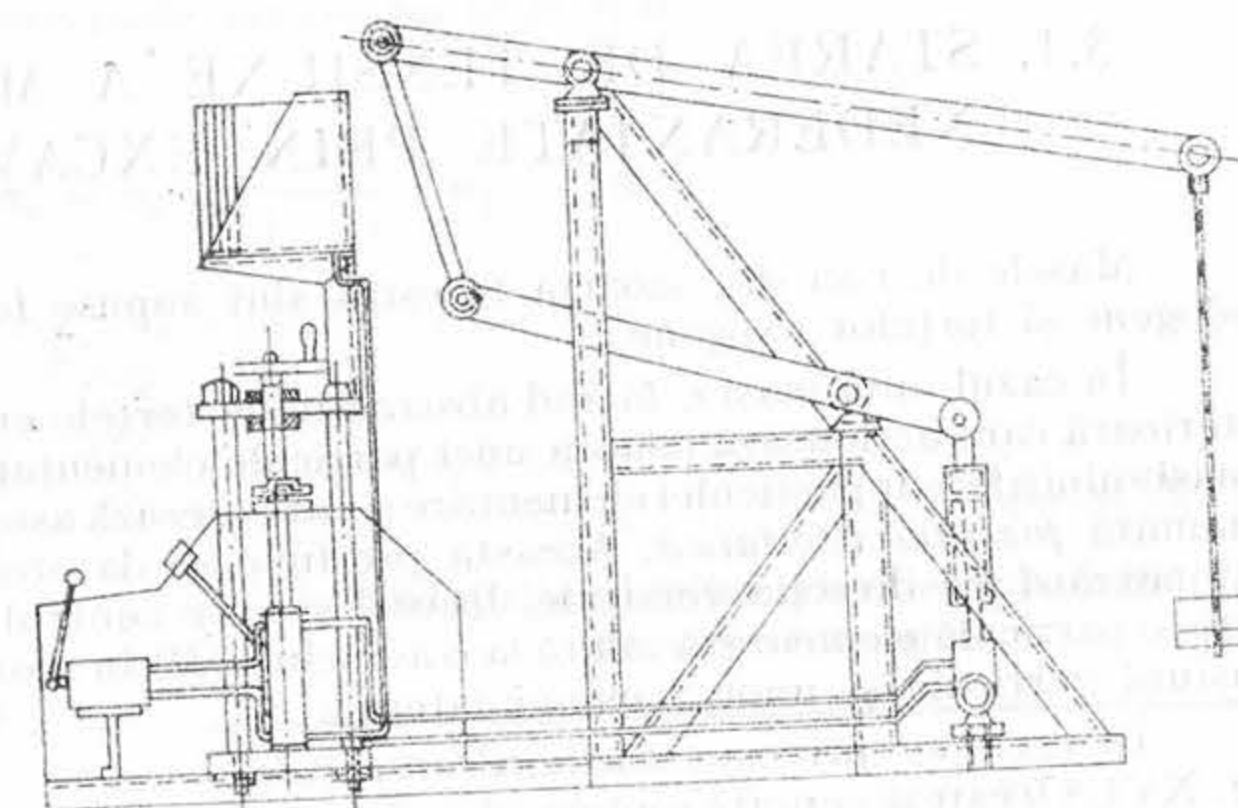


Fig. XVI.46. Instalație mecanică pentru încercări reologice.

3. STABILITATEA EXCAVAȚIILOR SUBTERANE

Prin noțiunea de stabilitate se înțelege o asemenea stare a sistemului care menține un echilibru stabil al acestuia, cu păstrarea secțiunii de lucru pe durata de existență proiectată. Evaluarea stabilității se efectuează pe baza calculului stării de tensiune a rocilor înainte și după executarea excavației subterane, prin stabilirea mărimii presiunii care acționează asupra excavației subterane.

3.1. STAREA DE TENSIUNE A MASIVULUI DE ROCI NEDERANJATE PRIN EXCAVAȚII

Masele de roci din scoarța terestră sunt supuse forțelor gravitaționale, forțelor endogene și forțelor exogene.

În cazul unui masiv, făcând abstracție de forțele endogene și cele exogene, forța exterioară care acționează asupra unei particule elementare este chiar greutatea proprie a masivului aferent particulei elementare și care creează asupra acesteia o stare de tensiune denumită *presiune litostatică*. Această presiune se datorează forței gravitaționale care acționează după direcția verticalei locului și spre centrul Pământului. Datorită acestei forțe, o particulă elementară aflată la o adâncime (H) în scoarța terestră va fi supusă unor tensiuni verticale și unor tensiuni laterale

În ceea ce privește tensiunile verticale (fig. XVI.47) este acceptată ipoteza că indiferent de mediul la care ne referim, acestea sînt proporționale cu adâncimea la care se studiază. Adică :

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = p \quad (3.1)$$

Mărimea tensiunilor laterale depinde de starea fizică în care se găsește masivul studiat, existind mai multe ipoteze.

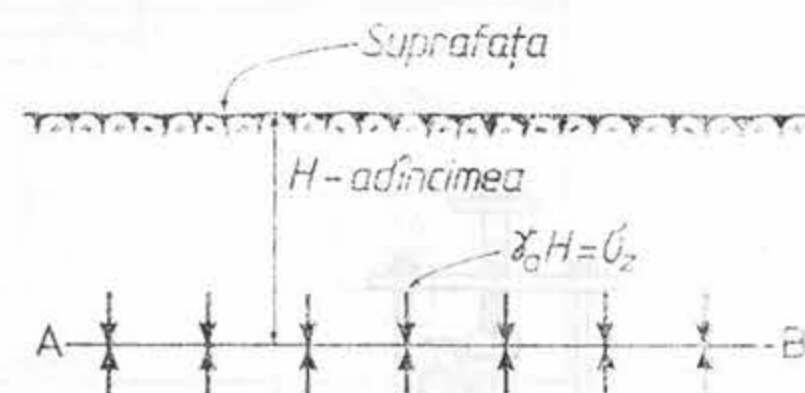


Fig. XVI.47. Ilustrarea tensiunilor verticale.

3.1.1. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT ELASTIC

P. K ü h n consideră că într-un mediu elastic omogen și izotrop, pentru o particulă elementară, un cub cu latura unitară, care se găsește la adâncimea H (fig. XVI.48) va fi supus la compresiune de către greutatea stîlpului de rocă pe această adâncime, avînd secțiunea transversală unitară.

Punînd condiția la limită, se ajunge la expresia :

$$\frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\mu \sigma_z}{E} = 0$$

de aici :

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot \sigma_z = \xi \sigma_z \quad (3.2)$$

Dacă direcțiile axelor z , y și x coincid cu direcțiile axelor principale, tensiunile σ_z , σ_y și σ_x vor deveni tensiuni principale, iar relația (3.2) devine :

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\mu}{1 - \mu} \cdot \sigma_1 = \xi \sigma_1 \quad (3.3)$$

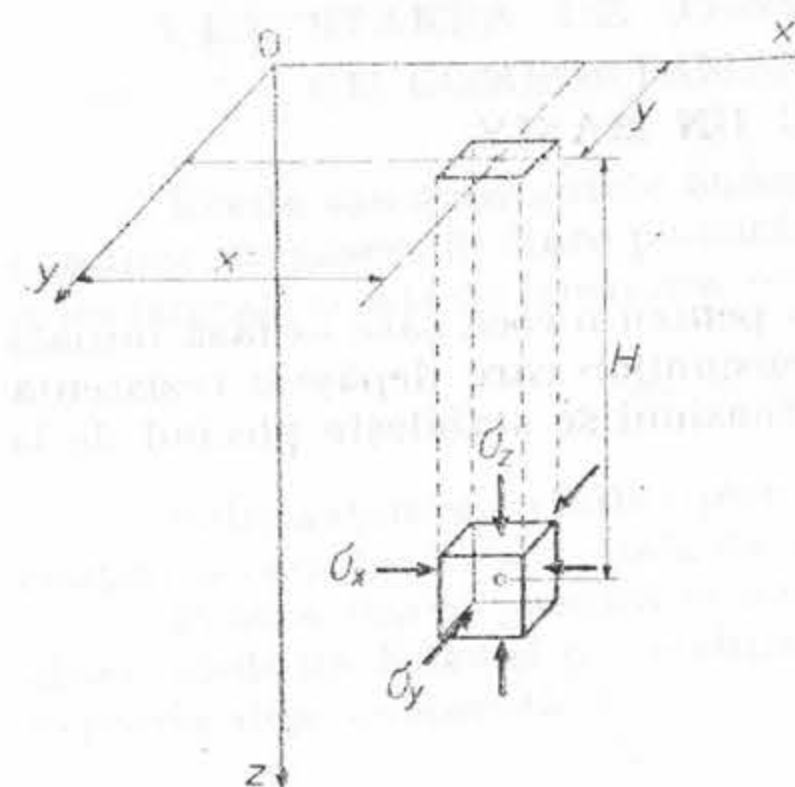


Fig. XVI.48. Starea de tensiune asupra unei particule elementare în ipoteza lui P. Kühn.

Tabelul XVI.23

Variația tensiunilor laterale în funcție de valoarea lui μ

μ	$\sigma_x = \sigma_y$
0	$\sigma_x = 0$
0,1	$\sigma_x = 0,11 \sigma_z$
0,2	$\sigma_x = 0,28 \sigma_z$
0,3	$\sigma_x = 0,43 \sigma_z$
0,4	$\sigma_x = 0,66 \sigma_z$
0,5	$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$

Pentru cazul tensiunilor tangențiale maxime, P. Kühn stabilește relația :

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_z}{2} \cdot \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \quad (3.4)$$

După modul de comportare al rocilor — în funcție de valoarea lui μ , tensiunile laterale variază conform tabelului XVI.23.

Din aceste relații rezultă că presiune litostatică diferă ca mărime de presiunea hidrostatică. Numai în cazul stării lichide a rocilor, atunci când avem de-a face cu roci curgătoare, presiunea litostatică are aceeași mărime ca presiunea hidrostatică. În acest caz $\mu = 0,5$ și deci: $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma_a H$.

R. Fennner exprimă starea de tensiune pentru un mediu elastic omogen și izotrop în coordonate polare, ajungind la expresiile:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{p}{2(m-1)} [m + (m-2) \cos 2\theta]; \\ \sigma_\theta &= \frac{p}{2(m-1)} [m - (m-2) \cos 2\theta]; \\ \tau_{r\theta} &= -\frac{p(m-2)}{2(m-1)} \cdot \sin 2\theta\end{aligned}\quad (3.5)$$

Problema tratată aici va fi dezvoltată în cele ce urmează.

3.1.2. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT ELASTIC

Pentru cazul unei roci lipsite de coeziune, sau pentru o rocă care în fază inițială are un comportament elastic dar datorită valorii tensiunilor care depășesc rezistența acesteia la forfecare se va sfărâma, echilibrul între tensiuni se stabilește plecând de la relația:

$$\sigma_1 = Q + f \cdot \sigma_3$$

Considerind coeziunea nulă, se ajunge la:

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sigma_1 \quad (3.6)$$

Dacă starea de tensiune este exprimată prin tensiuni oarecare, atunci:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sigma_z \quad (3.7)$$

Un exemplu de rocă în stare perfect elastică este nisipul curat și uscat.

În funcție de forma și dimensiunile particulelor de nisip, unghiul de frecare interioră a acestuia variază de la 30—45°, iar tensiunile laterale au valorile conform tabelului XVI.24.

Tabelul XVI.24
Valoarea tensiunilor laterale în funcție de φ

φ°	$\sigma_x = \sigma_y$
30	$\sigma_x = \sigma_y = 0,33 \sigma_z$
35	$\sigma_x = \sigma_y = 0,27 \sigma_z$
40	$\sigma_x = \sigma_y = 0,22 \sigma_z$
45	$\sigma_x = \sigma_y = 0,17 \sigma_z$

Substanțele casante, fărâmițate, cum ar fi rocile fărâmițate datorită unor presiuni excesive, pot fi considerate ca roci elastice, cu condiția să nu mai posedă coeziune.

3.1.3. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT PLASTIC

Rocile sau substanțele minerale utile, care după forfecare mai posedă o oarecare coeziune, se găsesc în stare plastică. Coeziunea existentă în rocă reduce valoarea tensiunilor laterale create de tensiunea verticală și, în acest caz, relația între tensiuni are forma:

$$\sigma_x = \sigma_y = i \sigma_z - 2ic \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (3.8)$$

Substanțele sau rocile tipice care se află în stare plastică sînt argila și nisipul care conține o cantitate apreciabilă de argilă sau nămol.

Pentru starea plastică se amintește și ipoteza lui Timbărevici, care se bazează pe observațiile lui Kühn și pe condiția de plasticitate, care determină limita de curgere din expresia deja cunoscută:

$$\sigma_z - \sigma_x = K_f$$

și

$$\sigma_x = \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma_a \cdot H$$

de unde:

$$H = \frac{K_f}{\gamma_a} \cdot \frac{1 - \mu}{1 - 2\mu} \quad (3.9)$$

Această relație, dedusă de Timbărevici, stabilește adîncimea, H , de la care, în jos, rocile trec din stare elastică în stare plastică.

Cunoașterea adîncimii limită a zonei elastice are o importanță deosebită deoarece, trecînd în domeniul deformațiilor plastice, se ridică o serie de probleme legate de creșterea presiunii și susținerea lucrărilor miniere cu susțineri adecvate. Pentru condițiile Văii Jiului adîncimile limită ale zonei elastice pentru diferite roci și după diverși autori sînt redate în tabelul XVI.25.

Tabelul XVI.25

Adâncimea limită a zonei elastice pentru câteva roci din Valea Jiului

Autorul	Formula autorului	Adâncimea limită a zonei elastice [m]		Adâncimea limită a zonei elastice [m]		
		Valoare rezultată din calcul	Valoare medie	Argile	Marne și gresii slabe	Gresii dure
		$\xi=0,227$	$\xi=0,75$	$\sigma_e=180$	$\sigma_e=450$	$\sigma_e=650$
P.M. Timbăre-vici	$h_e = \frac{\sigma_c}{2\xi\gamma_a}$	2160	655	490	1170	1650
V. D. Slesarev	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400
H. Labasse	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400
F. A. Belaenko	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a(1-\xi)}$	260	510	340	450	680
K. V. Ruppenait	$h_e = \frac{\sigma_c}{2\xi\gamma_a}$	2160	655	490	1170	1650
I. Bealer	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a M}$	2160	655	490	1170	1650
R. Cvapil	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a \cdot M_1}$	785	—	240	1400	2400
E. T. Procaikin	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400
A. P. Maksimov	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400

σ_c este rezistența la compresiune; σ_e — limita elastică; $\xi = \frac{\mu}{1-\mu}$ — coeficientul împingerii laterale; M — coeficient ce depinde de mărimile constante care caracterizează roca (pentru roci stabile de tărie medie $M = 1,3-2$); M_1 — coeficient care depinde de proprietățile rocii: pentru roci care au $f = 2$, $M_1 = 3$; pentru roci care au $f = 2$, $M = 1,25$; γ_a — greutatea specifică aparentă.

3.1.4. STAREA DE TENSIUNE ÎNTR-UN MASIV CU COMPORTAMENT NEELASTIC

Dacă se consideră masivul de rocă ca avînd un comportament viscoelastic, elasto-viscos sau elasto-visco-plastic, în relațiile care definesc starea de tensiune va interveni un nou parametru — timpul. În cazul cel mai general componenta verticală rămîne neschimbată, adică $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$. În ce privește componenta orizontală, aceasta se modifică în funcție de comportamentul masivului. Astfel, în cazul unui masiv omogen, neelastic de tip *Kelwin*, componenta orizontală se modifică prin modificarea coeficientului împingerii laterale ξ în ξ_k astfel:

$$\xi_k = \frac{\mu}{1-\mu} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \text{ unde } \tau = \frac{\eta_k}{E_k}$$

Astfel, starea de tensiune va avea forma:

$$\sigma_x = \sigma_y = \xi_k \cdot \sigma_z = \frac{\mu}{1-\mu} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \cdot \sigma_z$$

Cînd $t = 0$, $\xi_k = 0$ și $\sigma_x = \sigma_y = 0$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Cînd $t = \infty$, $\xi_k = \xi = \frac{\mu}{1-\mu}$ și $\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_z$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Deci, în cazul unui masiv cu un comportament neelastic de tip *Kelwin*, tensiunile orizontale se modifică crescînd, odată cu timpul ($t = 0$ și $t = \infty$), de la un masiv cu comportament perfect elastic, la un masiv a cărui elasticitate depinde de valoarea coeficientului lui *Poisson*.

În cazul unui masiv cu un comportament de tip *Maxwell*, se modifică, de asemenea componenta orizontală ξ în ξ_M astfel:

$$\xi_M = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{ în care } \tau = \frac{\eta_M}{E_M} \text{ și deci:}$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \xi_M \cdot \sigma_z = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \sigma_z \text{ și } \sigma_z = \gamma_a \cdot H$$

Cînd $t = 0$, $\sigma_x = \sigma_y = 0$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Cînd $t = \infty$; $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Și în acest caz se constată că tensiunile orizontale se modifică în timp de la un comportament perfect elastic, la un comportament plastic spre curgător.

3.1.5. STAREA DE TENSIUNE DE ORIGINE TECTONICĂ

Existența stării de tensiune de natură tectonică sau reziduală este semnalată de unele anomalii care se produc în excavațiile subterane prin deformații foarte mari care modifică mult componentele laterale. Această modificare importantă a componentelor laterale se poate datora fie eforturilor laterale de compresiune create de acțiunea fenomenelor tectonice, fie că ea este rezultatul unei stări reziduale sau ereditare de tensiuni din

timpul când masivul nu a suferit anume fenomene de eroziune. Aceste fenomene singulare sau cumulate pot crea o stare de tensiune care depășește valoarea tensiunilor gravitaționale.

S-a văzut anterior că:

$$\xi = \frac{\mu}{1-\mu} \text{ unde: } \mu = 0 - 0,5 \text{ și deci } \xi = 0 - 1$$

Rezultă de aici că dacă se ia în considerare numai starea de tensiune de origine gravitațională, tensiunile laterale nu pot depăși ca valoare tensiunile verticale. Înșă, așa cum s-a arătat, în unele puncte ale scoarței terestre au fost măsurate tensiuni de valori $\sigma_x = (0,6-8) \sigma_z$.

Din punct de vedere teoretic, elucidarea acestor fenomene are încă semne de întrebare.

Admițind totuși că starea de tensiune de origine gravitațională creează tensiunile $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$, iar starea de tensiune de natură tectonică sau reziduală creează o stare de tensiuni σ'_x, σ'_y și σ'_z atunci, starea naturală totală de tensiuni va fi:

$$\sigma_x = \sigma'_x + \sigma''_x; \sigma_y = \sigma'_y + \sigma''_y \text{ și } \sigma_z = \sigma'_z + \sigma''_z$$

Datorită cunoașterii insuficiente a fenomenelor tratate mai sus, în practica curentă a stabilirii stării de tensiune, majoritatea cercetătorilor iau în considerare numai tensiunile de natură tectonică.

3.2. REPARTIZAREA TENSIUNILOR ÎN ROCILE DIN JURUL EXCAVAȚIILOR SUBTERANE

Dacă în interiorul unui masiv oarecare, care are o stare de tensiune bine definită, vom executa o excavație de orice natură, starea de tensiune inițială se modifică creîndu-se o redistribuire a tensiunilor.

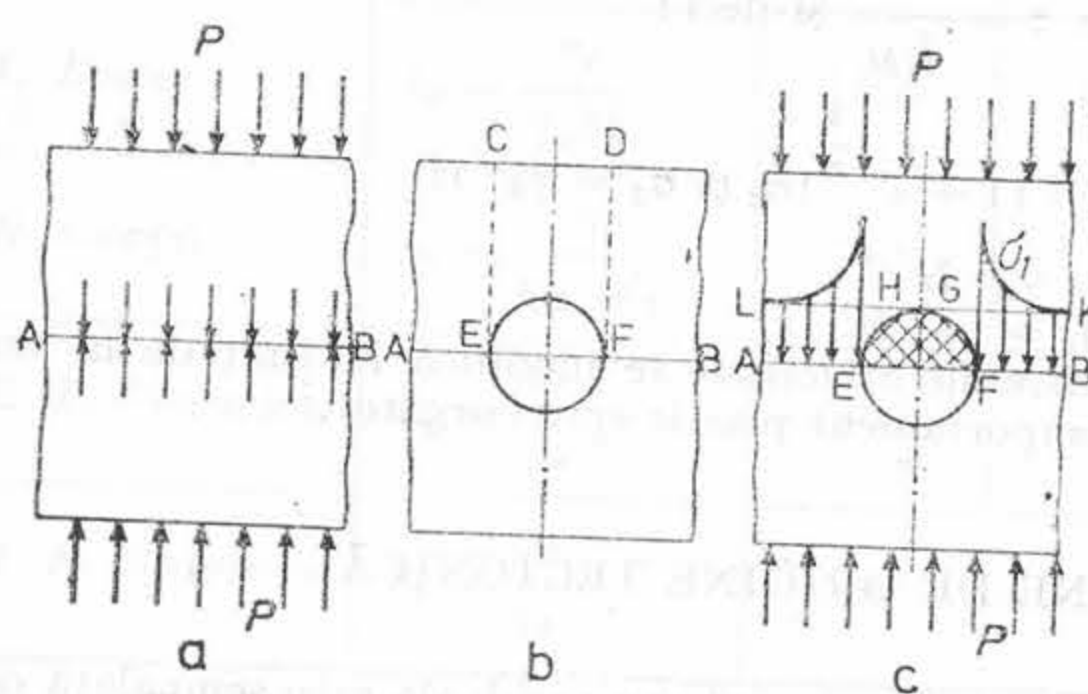


Fig. XVI.49. Concentrarea de tensiuni pe periferia unui orificiu circular:

a — placă intactă; b — placă în care a fost executat un orificiu circular; c — modul de concentrare a tensiunilor în jurul orificiului.

Pentru a explica modul de redistribuire a tensiunilor, se consideră o placă (fig. XVI.49) solicitată cu o forță oarecare P .

Dacă în placă nu se execută nici un orificiu, atunci în orice plan normal față de P (planul AB) mărimea solicitării este aceeași (fig. XVI.49, a).

Dacă însă se execută un orificiu în această placă, sarcina dată de blocul $CDEF$ nu poate fi transmisă prin orificiu și, în acest caz, ea va fi redistribuită în jurul orificiului, creîndu-se concentrări de tensiuni, care ating valoarea maximă la capetele

diametrului orizontal, valoare care descrește pe măsură ce ne îndepărtăm de orificiu (fig. XVI.49, c). Fenomenul fiind similar și pentru excavațiile subterane, concentrarea de tensiuni poate să provoace fisuri și căderi de blocuri în lucrarea minieră.

Studiul tensiunilor în excavațiile miniere se realizează prin mai multe procedee, și anume:

- studii și cercetări teoretice;
- studii prin metoda materialelor echivalente;
- studii prin fotoelasticimetrie;
- studii prin metode combinate.

3.2.1. STUDII ȘI CERCETĂRI TEORETICE CLASICE REFERITOARE LA REPARTIZAREA TENSIUNILOR

3.2.1.1. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii elastice omogene și izotrope

Unele roci, respectiv substanțe minerale utile, care se găsesc la anumite adâncimi în scoarța terestră pot fi considerate ca avînd un comportament elastic. Făcînd această presupunere, rezultatele obținute pot fi generalizate prin teoriile deja cunoscute.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere orizontale. Studiile matematice se bazează pe anumite relații deja stabilite, atât în cadrul teoriei elasticității, cît și la formațiunile de roci neatacate prin lucrările miniere.

Dacă se consideră o particulă materială aflată la o distanță r de centrul axelor de coordonate (fig. XVI.50) și în centrul axelor o lucrare minieră circulară de rază a , se observă că relațiile lui Fenner (3.5) sînt date pentru cazul cînd r are valori mari, adică particula studiată este foarte departe de lucrarea minieră.

Pentru cazul cînd $r = a$, relațiile vor deveni:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{P}{2} \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \frac{r^2 - a^2}{r^2} + \\ &+ \frac{P}{2} \cdot \frac{m-2}{m-1} \left[1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right] \cos 2\theta; \\ \sigma_\theta &= \frac{P}{2} \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \frac{r^2 + a^2}{r^2} - \frac{P \cdot m - 2}{2m-1} \left[1 + \frac{3a^4}{r^4} \right] \cos 2\theta; \\ \tau &= \frac{P}{2} \cdot \frac{m-2}{m-1} \left[-1 - \frac{2a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right] \sin 2\theta \end{aligned} \quad (3.10)$$

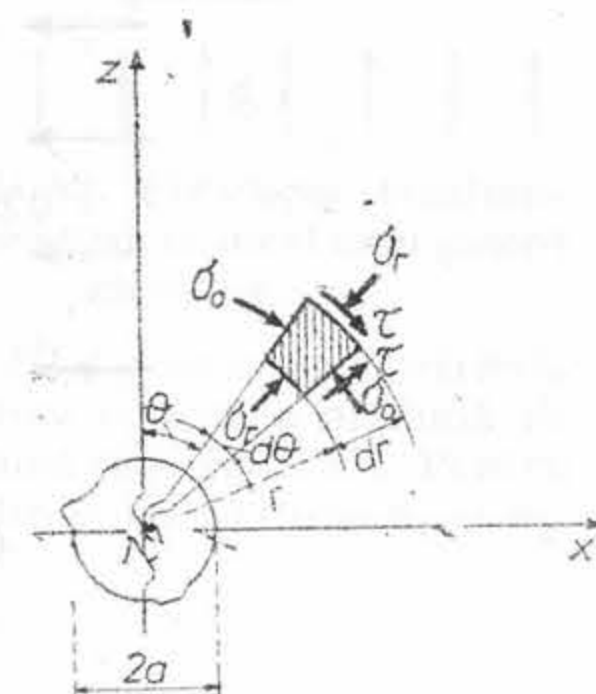


Fig. XVI.50. Starea de tensiune asupra unei particule exprimate în coordonate polare.

Tabelul XVI.26

Valorile coeficienților de concentrare a tensiunilor principale pe latura superioară, inferioară și pe mijlocul pereților

Forma secțiunii transversale		Circulară	Eliptică	Dreptunghiulară			Pătrată	Dreptunghiulară		
Raportul dintre înălțime și lățime a/b				18:1	5:1	3:1		1:1	1:3	1:5
Marginea (latura) superioară și inferioară a secțiunii	σ_{\max}	0,00	0,00; 0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
	σ_{\min}	-0,25	-0,42; 0,00	0,70	-0,16	-0,23	-0,44	-0,64	-0,67	0,75
Marginile secțiunii în mijlocul pereților	σ_{\max}	2,75	3,75; 2,20	0,80	0,96	1,00	1,30	2,00	2,23	5,00
	σ_{\min}	0,00	0,00; 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Coeficienții de concentrare care au semnul (—) indică tensiuni de tracțiune.

Coeficienții de concentrare care au semnul (-) indică tensiuni de tracțiune.

Din analiza tensiunilor din jurul lucrărilor miniere orizontale se constată că:

— în pereții lucrărilor miniere cu secțiune pătrată și dreptunghiulară există tensiuni de compresiune a căror valoare maximă este la partea superioară și la cea inferioară a pereților, iar cea minimă, la mijlocul înălțimii acestora;

— în lucrările de formă circulară sau eliptică, pereții sunt supuși, de asemenea, tensiunilor de compresiune, aceste tensiuni fiind maxime la extremitățile axei orizontale;

— în tavanul și vatra lucrării apar, în cele mai dese cazuri, tensiuni de tracțiune;

— la lucrările cu secțiune poligonală se produc concentrări de tensiuni de compresiune și de forfecare la punctele de contact dintre tavan și pereți, respectiv la punctele de contact dintre vatră și pereți.

Cele mai expuse din punct de vedere al rezistenței și stabilității sunt porțiunile din perimetrul secțiunii lucrării subterane supuse la tensiuni de tracțiune și de forfecare.

Zonele respective se identifică cu ajutorul relațiilor:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \gamma_a \cdot H \leq \sigma_t$$

și

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \gamma_a \cdot H \leq \sigma_f \quad (3.13)$$

Pentru ca lucrarea minieră să fie stabilă, valorile astfel determinate nu trebuie să depășească rezistențele mecanice respective ale rocilor considerate.

Studiile analizate pînă în prezent s-au referit la forme geometrice perfecte. Dacă se ține seama de faptul că lucrările miniere au conturul real neregulat, cu înfrîngeri și ieșinduri, în special cînd se folosesc lucrări de perforare-împușcare, acestea vor genera concentrări suplimentare ale tensiunilor în comparație cu tensiunile calculate ale conturului proiectat. Coeficienții de concentrare suplimentară a tensiunilor în vîrfurile neregularităților nu depind de forma conturului lucrării ci, în principal, de amplitudinea și numărul neregularităților. Concentrarea locală a tensiunilor datorită neregularităților conturului este considerabil mai mare decît pentru contururi ideale. Astfel, înfrîngurile cauzează concentrări de tensiuni, iar ieșindurile descărcări de tensiuni.

Pentru evitarea formării tensiunilor suplimentare, care creează perturbări ale stări de tensiune, este recomandabil ca lucrările miniere să se execute prin împușcări de netezire sau cu ajutorul combinelor. În aceste cazuri, tensiunile suplimentare vor fi reduse la minimum.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere verticale. Dacă se consideră o lucrare minieră verticală, cu secțiunea circulară (fig. XVI.55), executată într-un masiv elastic omogen și izotrop, starea de tensiune se exprimă prin relațiile:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma_a H \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right); \\ \sigma_\theta &= \frac{\mu}{1 - \mu} \gamma_a \cdot H \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Pentru punctele de pe conturul puțului, adică pentru $r = a$, aceste tensiuni au valorile: $\sigma_r = 0$;
 $\sigma_\theta = \frac{2\mu}{1-\mu} \gamma_a \cdot H$, adică $\sigma_\theta = 2\sigma_x = 2\sigma_y$. Se constată, din acest grafic, că tensiunea tangențială are valoarea cea mai mare, iar tensiune radială — valoarea cea mai

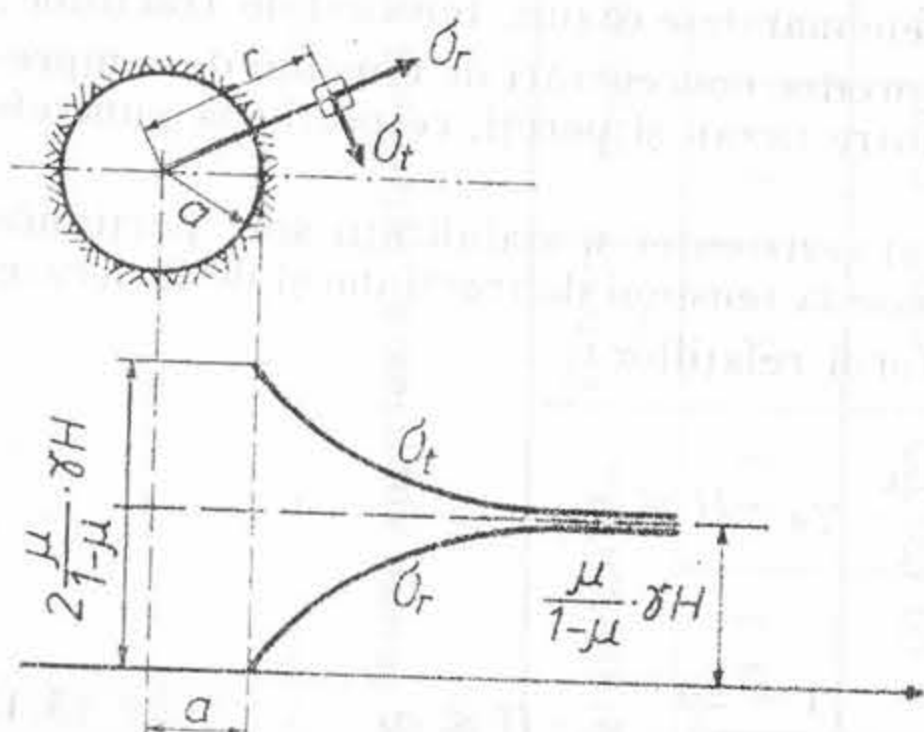


Fig. XVI.55. Variația tensiunilor radiale și tangențiale în jurul unei lucrări miniere verticale cu secțiune circulară (după P. M. Țimbarevici)

mică la periferia puțului și că aceste tensiuni (σ_θ) scad, respectiv (σ_r) cresc, tinzând asimptotic către valoarea:

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma_a \cdot H \quad (3.15)$$

Pentru ca lucrarea minieră verticală să fie stabilă, este necesar să fie satisfăcută relația:

$$\frac{2\mu}{1-\mu} \gamma_a \cdot H \leq \sigma_t \quad (3.16)$$

3.2.1.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii plastice sau elastice

Pornind de la unele date practice referitoare la echilibrul care ia naștere în jurul orificiilor executate în medii plastice sau cu coeziune mică, precum și de la fenomenul de boltire observat la silozurile de cereale, s-a trecut la studierea prin metoda matematică de investigație a tensiunilor care apar în jurul acestor lucrări miniere de diferite forme și destinații.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere orizontale. Plecând de la observațiile amintite, Labass a stabilit ecuația generală de echilibru în jurul unei lucrări miniere circulare, în coordonate polare, pentru cazul unei roci omogene, considerând lucrarea minieră în centrul axelor de coordonate și un element care se află la distanța r față de centrul axelor de coordonate (fig. XVI.56).

Se consideră că acest element se află în echilibru dacă proiecția forțelor pe raza care trece prin centrul de greutate și pe perpendiculara la această rază vor fi egale cu zero. În acest caz:

$$\begin{aligned} & \sigma_r \cdot r d\omega - \left(\sigma_r + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} dr \right) (r + dr) d\omega + \sigma_t dr \cdot \sin \frac{d\omega}{2} + \\ & + \left(\sigma_t + \frac{\partial \sigma_t}{\partial \omega} d\omega \right) dr \cdot \sin \frac{d\omega}{2} + \tau dr \cdot \cos \frac{d\omega}{2} - \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial \omega} d\omega \right) dr \cdot \cos \frac{d\omega}{2} + \gamma_a r d\omega dr \cdot \cos \omega = 0; \\ & \sigma_t dr \cdot \cos \frac{d\omega}{2} - \left(\sigma_t + \frac{\partial \sigma_t}{\partial \omega} d\omega \right) dr \cos \frac{d\omega}{2} + \\ & + \tau_r d\omega - \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial r} dr \right) (r + dr) d\omega - \tau dr \cdot \sin \frac{d\omega}{2} - \\ & - \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial \omega} d\omega \right) dr \sin \frac{d\omega}{2} - r d\omega dr \gamma_a \cdot \sin \omega = 0 \end{aligned} \quad (3.17)$$

După o serie de calcule se obține:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= p_i \left(\frac{r}{a} \right)^{j-1} + \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma_a \cdot a}{j-2} \left[\left(\frac{r}{a} \right)^{j-1} - \frac{r}{a} \right] \cos \omega \\ \sigma_t &= j \sigma_r \end{aligned} \quad (3.18)$$

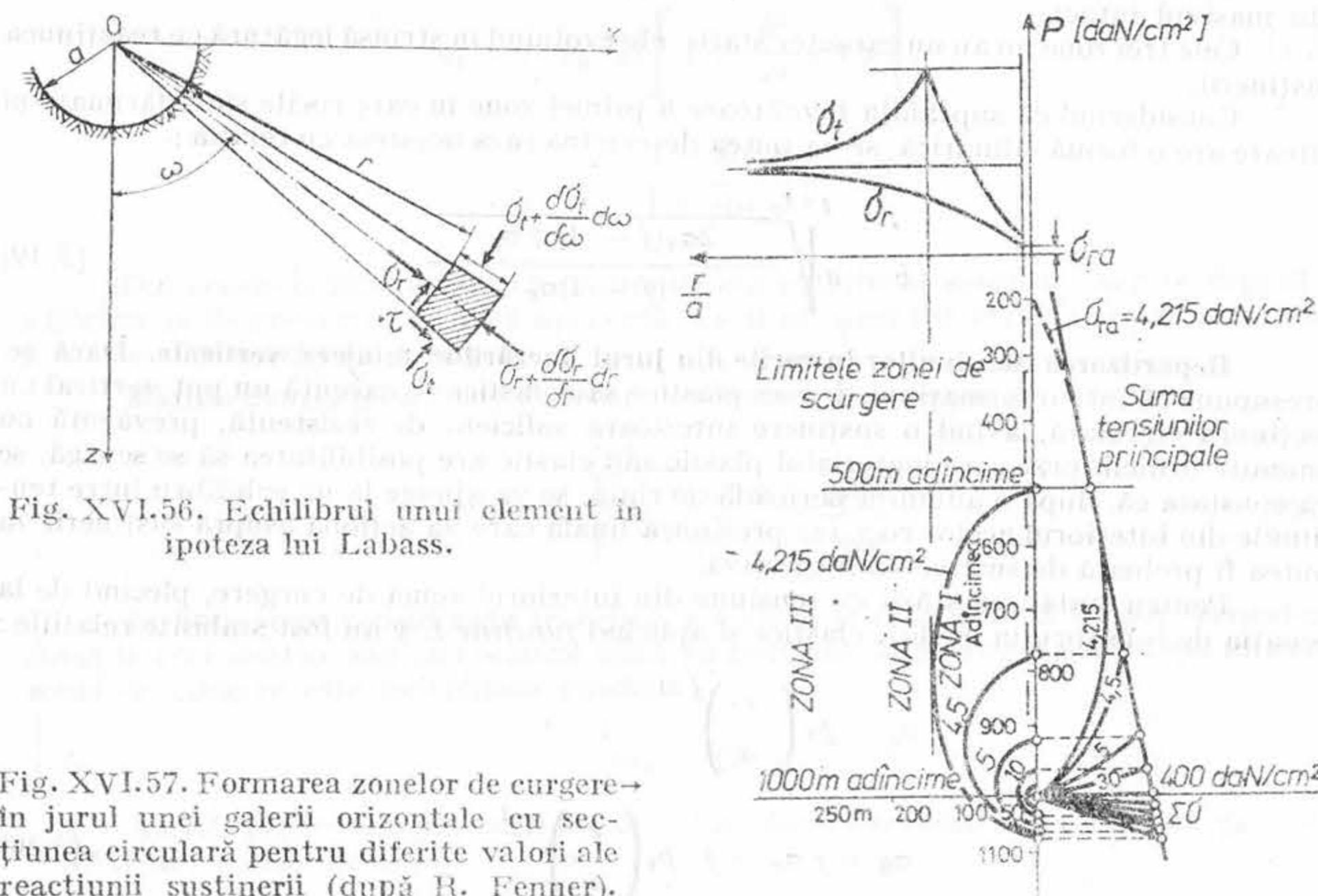


Fig. XVI.56. Echilibrul unui element în ipoteza lui Labass.

Fig. XVI.57. Formarea zonelor de curgere în jurul unei galerii orizontale cu secțiunea circulară pentru diferite valori ale reacțiunii susținerii (după R. Fenner).

În urma studierii stărilor de tensiune se ajunge la concluzia că în jurul unei galerii circulare se formează o zonă de curgere de formă eliptică, cu axa mare verticală, având axa galeriei în focarul inferior (fig. XVI.57).

Această zonă de curgere se extinde pe distanțe cu atât mai mari, cu cât tensiunile radiale pe periferia lucrării, care se consideră egale cu reacțiunea susținerii p_i sau σ_{ra} , sînt mai mici.

Dacă reacțiunea susținerii scade sub o valoare anumită, caracteristică fiecărei roci în parte, atunci limita zonei de curgere nu mai este o elipsă, ci o curbă deschisă de genul parabolei, care taie suprafața. Aceasta înseamnă, din punct de vedere practic, că în jurul galeriei respective nu se va ajunge la un echilibru între tensiunile interioare, fenomenul de curgere fiind continuu spre golul creat de galerie. În astfel de roci, pentru a stabili echilibrul, va trebui să se aplice o susținere de mare rezistență.

În urma acestor studii, H. L. a b a s s, însușindu-și punctul de vedere al lui R. F e n n e r, admite ideea că în jurul lucrărilor miniere săpate în roci clastice sau plastice sau în roci elastice, unde tensiunile au depășit rezistențele corespunzătoare, se formează trei zone, și anume:

— zona tensiunilor *reduse*, în interiorul căreia rocile sînt fisurate și afinate, zonă delimitată de o suprafață învelitoare; în interiorul acestei zone tensiunile radiale și cele tangențiale cresc continuu;

— zona tensiunilor *mărite* — inel portant — care cuprinde o bandă îngustă situată de-a lungul suprafeței învelitoare; în această zonă tensiunea tangențială atinge valoarea maximă;

— zona de *trecere* de la tensiunile mărite la tensiunile din masiv, lucru demonstrat și de faptul că atât tensiunile tangențiale cît și cele radiale tind către valoarea tensiunilor din masivul intact.

Cele trei zone nu au un caracter static, ele evoluind în strînsă legătură cu reacțiunea susținerii.

Considerind că suprafața învelitoare a primei zone în care rocile sînt sfărîmate și afinate are o formă cilindrică, se va putea determina raza acesteia cu relația:

$$b = a \sqrt{\frac{j+1}{j-1} \frac{2\sigma_z(j-1) + \sigma_c}{\sigma_c}} \quad (3.19)$$

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere verticale. Dacă se presupune că într-o formațiune de roci plastice sau clastice se execută un puț vertical cu secțiunea circulară, avînd o susținere interioară suficient de rezistentă, prevăzută cu anumite orificii, prin care materialul plastic sau clastic are posibilitatea să se scurgă, se va constata că, după o anumită perioadă de timp, se va ajunge la un echilibru între tensiunile din interiorul acelor roci, iar presiunea finală care va acționa asupra susținerii va putea fi preluată de susținerea respectivă.

Pentru stabilirea stării de tensiune din interiorul zonei de curgere, plecînd de la ecuația de echilibru în mediile clastice și aplicînd funcțiile Ery au fost stabilite relațiile:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= p_i \left(\frac{r}{a} \right)^{j-1}; \\ \sigma_\theta &= j \sigma_r = j \cdot p_i \left(\frac{r}{a} \right)^{j-1} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Din examinarea stărilor de tensiune (fig. XVI.58), se constată că tensiunile radiale și cele tangențiale din interiorul zonei de curgere nu depind de adîncimea la care se găsește punctul studiat și nici de greutatea specifică aparentă a rocilor.

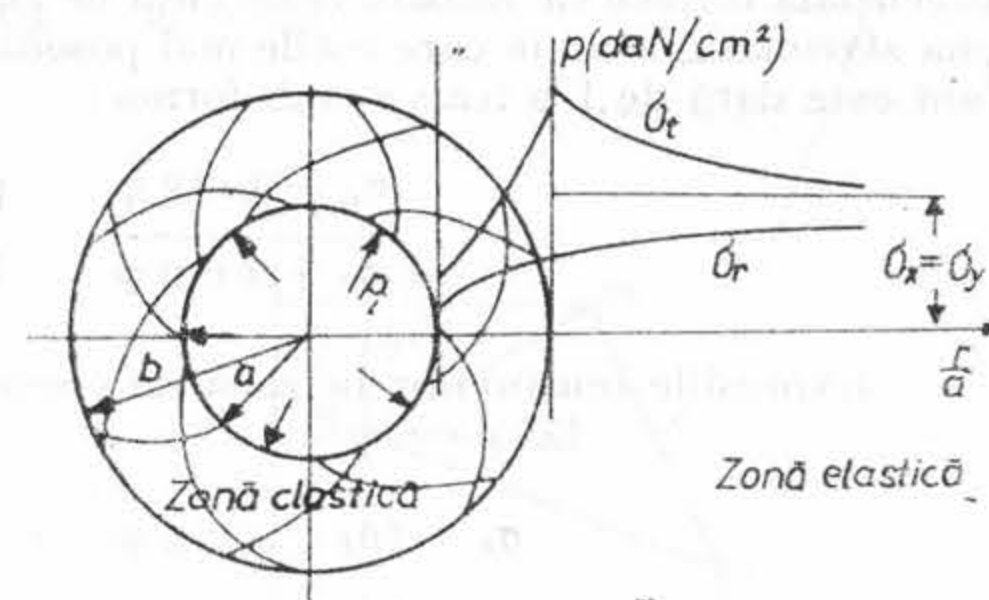


Fig. XVI.58. Starea de tensiune în jurul unei lucrări verticale de secțiune circulară executată în roci elasto-elastice.

În exteriorul zonei de curgere, tensiunile au valorile:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= i \cdot \gamma a \cdot H \left[1 - \frac{b^2}{r^2} \sin \varphi \right]; \\ \sigma_\theta &= i \cdot \gamma a \cdot H \left[1 + \frac{b^2}{r^2} \sin \varphi \right]; \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$i = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

Din aceste relații rezultă că tensiunile din exteriorul zonei de curgere depind de adîncime și de greutatea pecifică aparentă. Ca și în cazul lucrărilor miniere orizontale, și aici se formează cele trei zone.

Mărimea razei (b) a zonei de tensiuni reduse se determină din relația:

$$b = a \sqrt{\frac{j-1}{j} \frac{1 - \sin \varphi}{\sigma_{ra}} \cdot \frac{\gamma a H}{\sigma_{ra}}} \quad (3.22)$$

Pe baza unor considerații teoretice, s-a ajuns la concluzia că un puț vertical executat în roci clastice sau cu coeziune mică va continua să fie stabil dacă după formarea zonei de curgere este îndeplinită condiția:

$$\sigma_{ra} > \gamma a \cdot a$$

Astfel, pentru un puț care are $a = 3$ m, fiind executat într-o rocă cu $\gamma a = 2,4 \cdot 10^4$ N/m³, relația devine:

$$\sigma_{ra} > 2,4 \cdot 3 = 0,72 \text{ daN/cm}^2.$$

Această condiție poate fi realizată ușor în practică chiar cu o susținere de mică rezistență.

Când lucrarea minieră se sapă într-o rocă care are o coeziune mică și când tensiunea tangențială întrece ca valoare rezistența de rupere la compresiune a rocilor, formându-se zona sfărâmată, zonă în care rocile mai posedă o oarecare coeziune — legătura între tensiuni este dată de L a b a s s — sub forma :

$$\frac{\sigma_{\theta} + c \operatorname{ctg} \varphi}{\sigma_r + c \operatorname{ctg} \varphi} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = j$$

Expresiile tensiunilor în zona de curgere au valorile :

$$\sigma_r = (p_i + c \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{j-1} - c \operatorname{ctg} \varphi \quad (3.23)$$

$$\sigma_{\theta} = j \cdot \sigma_r$$

De remarcat că ultimele relații sînt mult mai generale decît relațiile stabilite de Fenner, care de altfel se obțin din acestea pentru $c = 0$.

3.2.2. STUDII ȘI CERCETĂRI NUMERICE REFERITOARE LA REPARTIZAREA TENSIUNILOR (METODA ELEMENTELOR FINITE)

Această metodă constituie un procedeu analitic non prin care se pot rezolva în prezent multe probleme din domeniul mecanicii rocilor și implicit al mineritului.

Metoda are la bază principiul elementelor finite care, de fapt, constă în minimizarea, din aproape în aproape, a funcțiilor și extinderea metodei Rayleigh-Ritz. În principal desfășurarea soluționării constă din două probleme : 1) determinarea ecuației cu diferențiale parțiale și ; 2) minimizarea funcției. Aceste două probleme se rezolvă prin intermediul unui număr discret de valori asociate la un punct, *modul specific*, rezultat din divizarea unei regiuni sau suprafețe în o serie de elemente poligonale de diferite forme denumite *elemente* sau *celule*. Se consideră deci masivul de rocă heterogen ca fiind constituit dintr-un număr finit de elemente de formă triunghiulară articulate între ele în vîrfuri (fig. XVI.59). Din acest masiv preluăm un element finit de formă triunghiulară definit de valorile i, j, k , adică de o funcție aproximată prin trei valori nodale Φ_i, Φ_j, Φ_k de tip liniar în coordonate x și y :

$$\Phi = \frac{1}{2\Delta} [(a_i + b_i x + c_i y); (a_j + b_j x + c_j y); (a_k + b_k x + c_k y)] \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \\ \Phi_k \end{Bmatrix}$$

$$\text{unde : } 2\Delta = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix} = 2 \times \text{aria triunghiului } ijk.$$

$$\begin{aligned} \text{și } a_i &= x_k y_j - x_j y_k; & b_i &= y_k - y_j; & c_i &= x_j - x_k; \\ a_j &= x_i y_k - x_k y_i; & b_j &= y_i - y_k; & c_j &= x_k - x_i; \\ a_k &= x_j y_i - x_i y_j; & b_k &= y_j - y_i; & c_k &= x_i - x_j. \end{aligned}$$

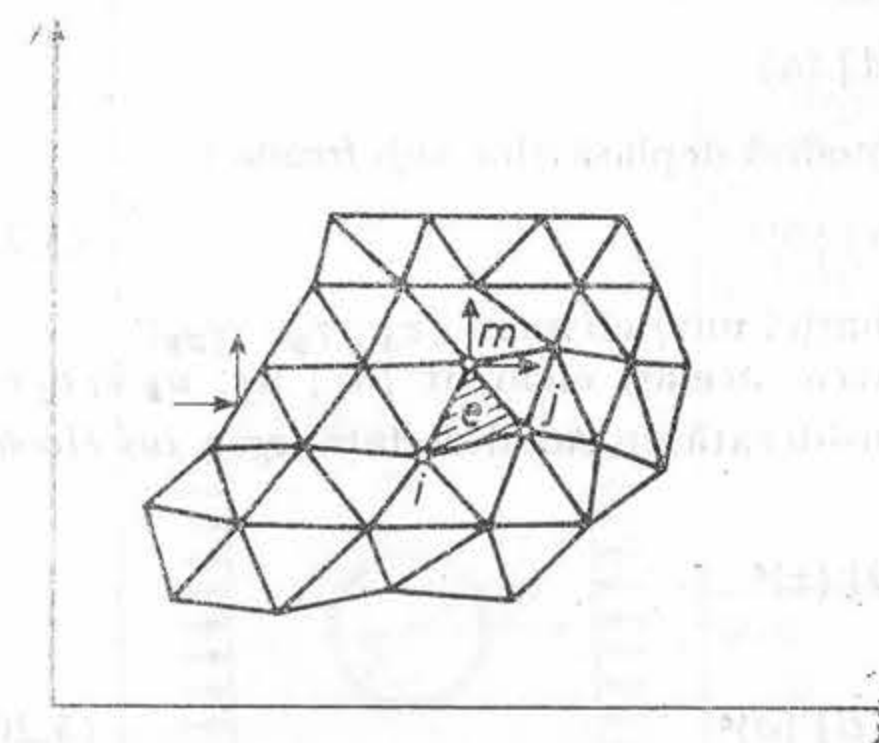


Fig. XVI.59. Structura plană divizată în triunghi.

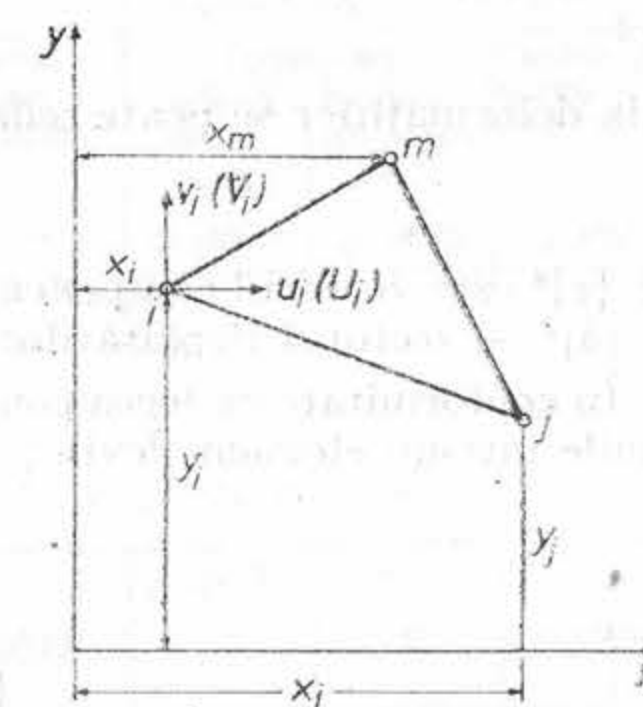


Fig. XVI.60. Triunghi elementar definit prin puncte nodale.

unde $x_i, x_j, x_k, y_i, y_j, y_k$ sînt coordonatele punctelor nodale ce definesc elementul triunghiular. Relația anterioară poate fi redată ca ecuație diferențială și sub forma :

$$\Phi = [N_i; N_j; N_k] \{\Phi^e\} = \{N(x; y)\} \{\Phi^e\}$$

care după derivare se poate minimiza.

Mărimea unui element utilizat în modelarea problemelor prin procedeul elementului finit nu este arbitrar aleasă, ci ea corespunde sensului fizic ce dorim să-l modelăm. Fiecare element al modelului considerat poate fi identificat prin trei puncte nodale i, j, k numerotate în sens invers acelor de ceasornic și localizat prin coordonatele de poziție (fig. XVI.60) :

$$i(x_i; y_i); j(x_j y_j); k(x_k y_k)$$

și de mărimi fizice ca : proprietățile fizico-mecanice, elastice și reologice ale rocii studiate. Toate aceste mărimi vor defini în primul rînd elementul e și, în final, întreaga structură printr-o funcție de deplasări (∂); de deformării (ε); de tensiunea (σ) de forțe nodale (F) și funcția de funcții care este soluția întregului ansamblu — masivul de rocă studiat, în contextul fenomenului analizat. Astfel, pentru cazul rețelilor de tip triunghiular, funcțiile deplasării se pot reda sub forma polinoamelor de tipul :

$$u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \quad (3.24)$$

$$v = \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y.$$

unde $\alpha_1 \dots \alpha_6$ sînt parametrii de liniarizare constanți pentru un element. Deci :

$$u_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i v_i = \alpha_4 + \alpha_5 x_i + \alpha_6 y_i$$

$$u_j = \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j v_j = \alpha_4 + \alpha_5 x_j + \alpha_6 y_j$$

$$u_k = \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k v_k = \alpha_4 + \alpha_5 x_k + \alpha_6 y_k$$

Adică : $\{\delta\}^e = [A] \{\alpha\}$

Funcția deformațiilor se poate reda prin intermediul deplasărilor sub forma :

$$\{\varepsilon\}^e = [B] \{\delta\}^e \quad (3.25)$$

unde : $\{\varepsilon\}^e$ este vectorul componentelor deformației unui element $\{\varepsilon_x; \varepsilon_y; \gamma_{xy}\}$

$\{\delta\}^e$ — vectorul deplasărilor nodale pentru același element $\{u_i; u_j; u_k; v_i; v_j; v_k\}$

În conformitate cu legea constitutivă considerată, în cazul de față legea lui Hooke, tensiunile într-un element devin :

$$\{\sigma\}^e = [D] \{\varepsilon\}^e$$

sa u :

$$\{\sigma\}^e = [D] [B] \{\delta\}^e \quad (3.26)$$

Forțele nodale pot fi calculate din coordonatele tensiunilor prin intermediul expresiei :

$$\{F\}^e = [C] \{\sigma\}^e \quad (3.27)$$

Combinînd ecuațiile de mai sus se obține :

$$\{F\}^e = [K]^e \{\delta\}^e \quad (3.28)$$

unde $[K]^e$ reprezintă matricea de rigiditate a unui element

$$[K]^e = [C] [D] [B] \quad (3.29)$$

$[C]$ — este o matrice cu 6 rînduri și trei coloane, în general transpusa lui $[B]$, adică $[B]^T$ și ea depinde de forma și orientarea elementului.

Pentru o rețea întregă de n elemente finite, relația devine :

$$F = [K_n] \{\delta\}^e \quad (3.30)$$

unde $[K_n]$ este $n \cdot n$ matricea ca matrice de matrice a întregului sistem considerat. În baza ultimei expresii și utilizînd principiul lucrului mecanic, virtual se pot determina forțele F după care problema este rezolvată, obținîndu-se, conform relațiilor anterioare, starea de tensiune-deformare căutată. Se dă spre exemplificare și comparativ cu soluția clasică (relațiile lui Fenner pentru starea de tensiune-deformare a rocilor din jurul unei lucrări miniere orizontale de formă circulară executată într-un masiv elastic omogen și izotrop) rezultatele obținute prin metoda elementului finit (tabelul XVI.27).

Deci în metoda elementului finit pentru rezolvarea unei probleme se parcurg următoarele etape :

1) schematizarea mediului — masivul este înlocuit cu un ansamblu de elemente finite cu proprietăți interconectate în noduri;

Tabelul XVI.27 Compararea valorilor obținute prin metoda clasică și prin metoda elementelor finite

VALOAREA COMPONENTELOR DE TENSIUNE SECUNDARĂ PLANĂ ȘI A DEPLASĂRII ÎN CAZUL UNEI LUCRĂRI MINIERE ORIZONTALE DE FORMĂ CIRCULARĂ					
Pentru o stare primară de tensiune monoaxială $\sigma_x = \sigma_y = \lambda \sigma_z = 0$			Pentru o stare primară de tensiune biaxială $\sigma_x = \sigma_y = \lambda \sigma_z$ și $\sigma_z = \gamma_0 H$		
Tensiunea radială pentru $r=a$	Tensiunea tangențială pentru $r=a$	Deplasarea radială	Tensiunea radială pentru $r=a$	Tensiunea tangențială pentru $r=a$	Deplasarea radială
σ_r [MPa]	σ_θ [MPa]	u_r [m]	σ_r [MPa]	σ_θ [MPa]	u_r [m]
METODA CLASICĂ					
$\theta=0$			$\theta=0$		
0	-21	0,010	0	-14	-0,0203
$\theta=90^\circ$			$\theta=90^\circ$		
0	7	0,0305	0	-14	-0,0203
METODA ELEMENTULUI FINIT					
$\theta=0$			$\theta=0$		
-0,924	-20,951	0,0116	-1,302	-14,28	-0,0202
$\theta=90^\circ$			$\theta=90^\circ$		
-0,434	6,727	0,032	-1,302	-14,28	-0,0202
DATELE PROBLEMEI:					
$\sigma_z = 7$ MPa					
$E = 7000$ MPa					
$\mu = 0,25$					
$a = 1,5$ m					

2) se stabilesc rigiditățile fiecărui element, respectiv deplasările care apar în noduri cînd se aplică în acestea o forță exterioară. Comportamentul fiecărui element trebuie să aproximeze cît mai bine comportamentul porțiunii de masiv pe care o înlocuiește;

3) se reconsideră masivul, legînd între ele elementele finite în care a fost împărțit. Legăturile se fac în noduri și constau în scrierea unei condiții de echilibru — forțele în nod trebuie să fie nule, adunîndu-le din toate elementele concurente în nodul respectiv;

4) în acest nod se obține un sistem de $2n$ ecuații (n = numărul nodurilor) cu $2n$ necunoscute ($2n$ = numărul deplasărilor nodurilor). Ca termeni liberi vor figura forțele exterioare care se aplică în nodurile respective;

5) rezolvînd sistemul se obțin deplasările întregii structuri și apoi pe baza lor se pot stabili ușor deformațiile și eforturile.

Marele avantaj al metodei este faptul că funcțiile cu care se aproximează comportarea reală a masivului sînt simple, ele putînd avea valori diferite de la element la element. Deci se poate impune fiecărui element o comportare proprie funcție de caracteristicile rocii, aplicînd în calcule caracterul anizotrop și heterotrop al rocii, adică heterogenitatea masivului, diferențele între caracteristicile elastice, comportamentul nelinier sau plastic modul diferit de curgere etc. În cazul unui proces de plastifiere de exemplu, rînd pe rînd elementele în care a fost depășită limita elastică se vor comporta plastic, compatibilitatea ansamblului fiind asigurată de rezolvarea simultană a sistemului de ecuații. Tot acest calcul este realizat de calculator; un program de element finit odată pus la punct poate rezolva probleme foarte variate, doar prin modificarea datelor și aplicarea anumitor restricții. Un calcul prin metoda elementului finit face azi posibilă interpretarea justă a comportării în timp a excavațiilor miniere.

3.2.3. STUDII ȘI CERCETĂRI EFECTUATE PRIN METODA OPTICĂ

Pentru determinarea stărilor de tensiune din jurul lucrărilor miniere, în special în cazul profilelor asimetrice, sau pentru cazul cînd aceste probleme nu pot fi studiate prin metodele matematice, se folosește metoda optică sub diferite forme.

Metoda optică polarizatoare. Această metodă, aplicată la lucrările miniere, este similară ca principiu cu metoda aplicată în studiul tensiunilor care apar în diferite organe de mașini.

Metoda constă din executarea, într-o placă de material optic activ (sticlă, celuloză, decorit) cu proprietăți elastice, a formei secțiunii transversale a lucrării miniere care urmează a fi studiată. Plăcile din material optic activ sînt supuse la eforturi corespunzătoare adîncimilor din practică, pentru care se urmărește studiul repartizării tensiunilor.

Datorită eforturilor exterioare, se creează în placa de decorit o anumită stare de tensiuni, care depinde de forma profilului studiat. Această stare de tensiuni, care este caracterizată prin zone de compresiune și zone de tracțiune, are ca urmare producerea în placa de material optic activ a unei schimbări a compactității acestui material și anume, în zonele comprimate compactitatea devine mai mare, iar în zonele supuse la tensiuni de tracțiune compactitatea este mai mică.

La început, pe placă modelului, toate punctele în care nu există diferență între tensiunile principale apar întunecate, deoarece acolo nu are loc nici o întîrziere a componentei razei de lumină.

Aceste puncte, de același ordin al tonalității culorii și care sînt caracterizate prin aceeași diferență de tensiuni principale, se prezintă pe imaginea fotografică unite între ele sub forma unor linii curbe, continui, de culoare închisă, numite *curbe de tensiuni egale*. Liniile de diferite ordine sînt separate între ele prin fișii luminoase.

Rezultatele cercetărilor întreprinse prin metoda optică polarizată sînt redată sub formă de fotografii și de grafice ale stărilor de tensiune în fig. XVI.61.

Metoda optică cromatică. Este asemănătoare metodei precedente, cu deosebirea că în acest caz se folosește ca material optic activ igdantina, iar solicitarea este realizată prin greutate proprie. Liniile de tensiuni egale poartă numele de *izocrome*.

Procedeul descris se referă la starea plană de solicitare. Cînd excavațiile subterane prezintă forme complicate, poate fi aplicată fotoelasticitatea spațială prin metoda fixării deformației modelului — *procedeul înghețării tensiunilor*.

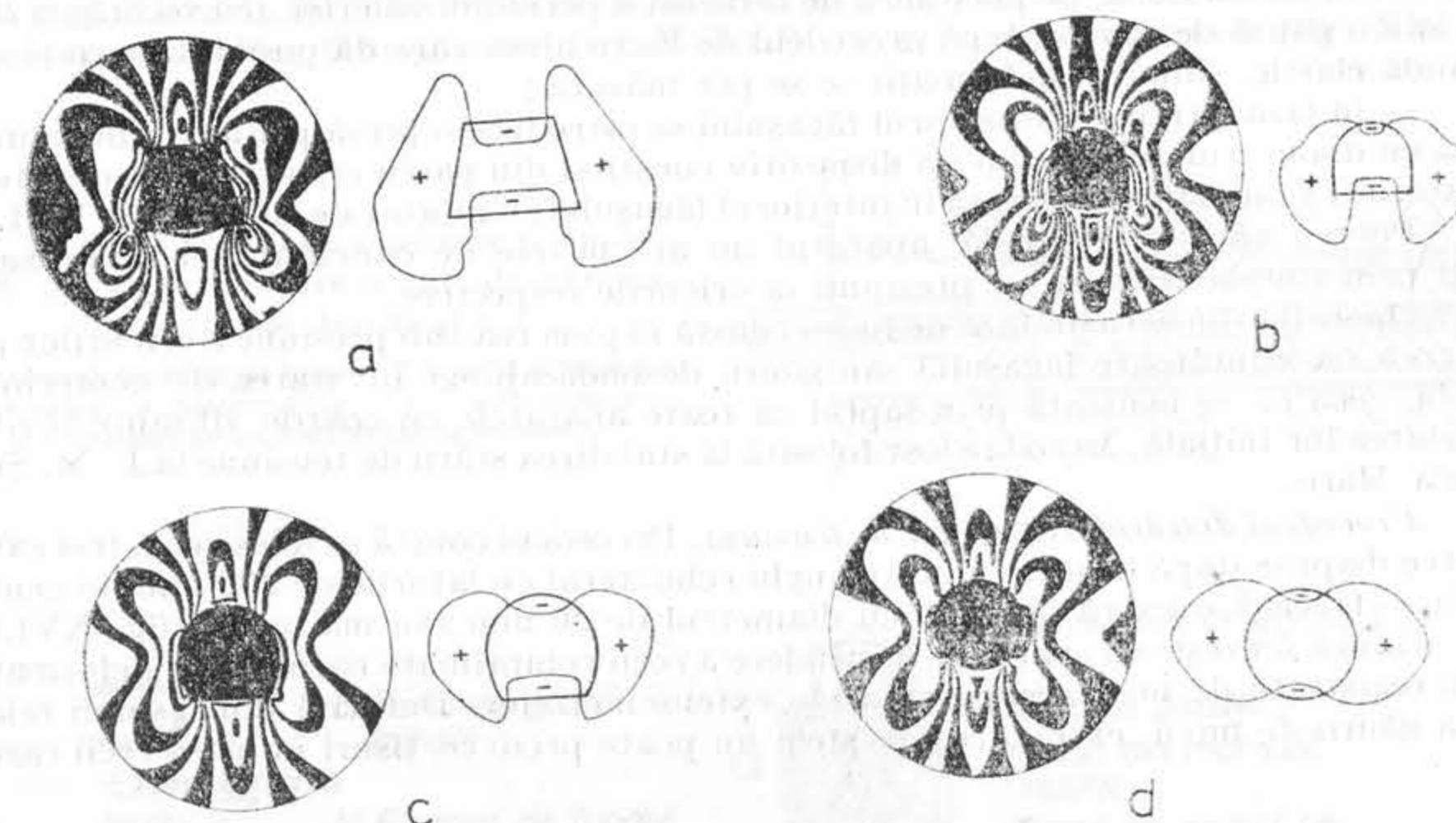


Fig. XVI.61. Repartizarea tensiunilor în jurul unor lucrări miniere orizontale de diferite forme ale secțiunilor transversale (după Dorstewitz):
a — trapezoidală; b — boltită; c — potcoavă; d — circulară.

3.2.4. STUDIUL TENSIUNILOR ȘI A REPARTIZĂRII ACESTORA PRIN MĂSURĂTORI DIRECTE

Metodele analitice folosite în analiza stărilor de tensiuni sînt limitate la anumite forme de profile, iar metodele elementelor finite necesită calculatoare cu performanțe ridicate majorînd mult costul. În foarte multe cazuri, analiza experimentală a stării de tensiune devine singura metodă posibilă de aplicat, avînd o eficiență ridicată într-un timp relativ redus.

Măsurarea tensiunilor în masiv poate fi realizată prin:

- 1) metoda descărcării de tensiuni a masivului de rocă, 2) metoda găurilor de mină și 3) metode bazate pe studiul propagării undelor.

Metoda descărcării rocilor de tensiuni poate fi analizată prin:

- procedeul restabilirii stării inițiale de tensiuni;
- procedeul descărcării parțiale de tensiuni;
- procedeul descărcării totale de tensiuni.

Procedeul restabilirii stării inițiale de tensiuni. Acest procedeu are la bază ideea readucerii rocii în prealabil decomprimată, printr-un fagaș sau gaură de sondă, la starea inițială de compresiune, cu ajutorul unei aparaturi adecvate, a cărei presiune se poate măsura.

Procedeul implică efectuarea următoarelor operații:

- în prima fază, pe peretele intact al lucrării subterane, adică înainte de executarea fagașului sau a găurii de sondă, se montează aparate cu coarde vibratorii, determinîndu-se tonalitatea acestora (denumită *tonalitate inițială*);

— în faza a doua, pe porțiunea de cercetat a peretelui galeriei, se execută un fâgaș plan sau o gaură de sondă (după procedeul de lucru ales), care dă posibilitate rocii să se destindă elastic, suferind deformații ce se pot măsura;

— în faza a treia, în interiorul fâgașului se introduce o presă plată, iar în gaura de sondă cu diametrul de 250 mm un dispozitiv constând din patru cricuri independente tip Freyssinet. Presa plată este fixată în interiorul fâgașului cu mortar de ciment (fig. XVI.62).

Pentru găurile de sondă, aparatul nu are nevoie de cimentare, el fiind fixat pe pereți prin simpla creștere a presiunii în cricurile respective.

Operația din această fază de lucru constă în punerea sub presiune a cricurilor până cind roca înconjurătoare fâgașului sau găurii desondă ajunge în starea de comprimare inițială, ceea ce se constată prin faptul că toate aparatele cu coarde vibrante revin la tonalitatea lor inițială. Metoda a fost folosită la stabilirea stării de tensiune la l. M. Șuilor — Baia Mare.

Procedeul descărcării parțiale de tensiuni. Procedeul constă în folosirea a trei extensometre dispuse după laturile unui triunghi echilateral cu laturile de 200 mm, în centrul căruia se facează o gaură de mină cu diametrul de 56 mm sau mai mare (fig. XVI.63).

Gaura servește ca spațiu de destindere a rocii comprimate natural, iar deformațiile sînt înregistrate de microcomparatoarele extensometrelor. Datorită dimensiunii relativ mici a găurii de mină, executarea acesteia nu poate produce fisuri în masa rocii care se

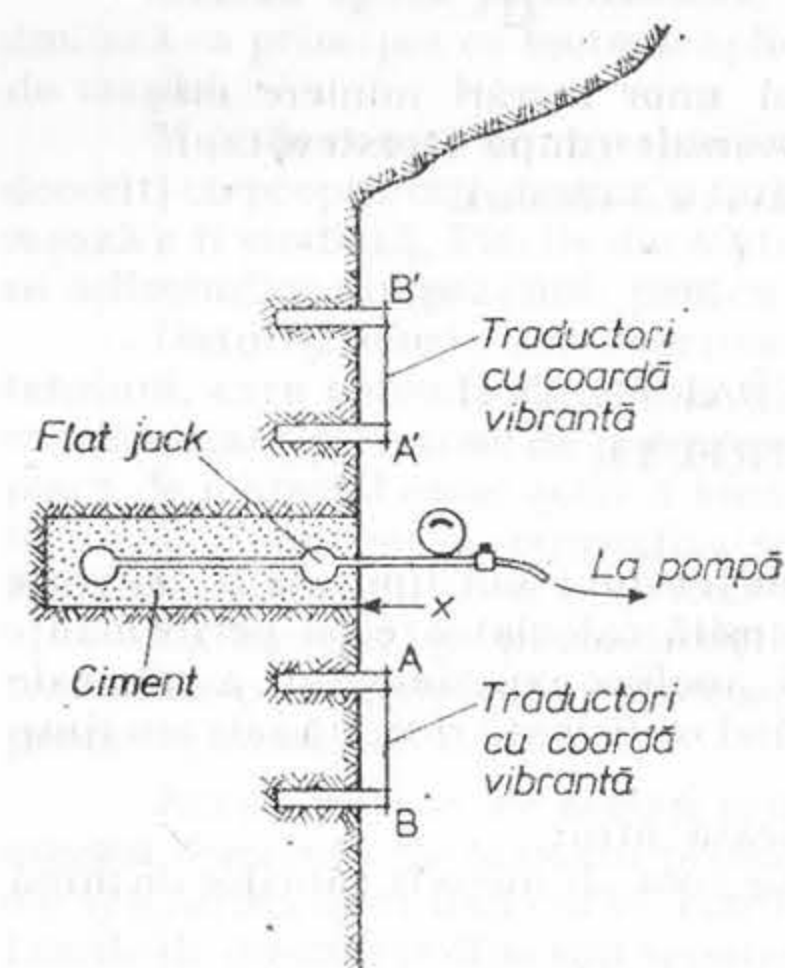


Fig. XVI.62 Procedeul restabilirii tensiunilor inițiale.

cercetează. Rezultatele obținute au valoare locală și nu pot fi generalizate pentru întreaga lucrare subterană. Pentru a avea rezultate cât mai concludente este necesar să se efectueze cât mai multe măsurători în locuri cât mai diferite și pe ambii pereți ai lucrării.

Procedeul descărcării totale de tensiuni. Procedeul descărcării totale se bazează pe îndepărtarea completă a stării de tensiune-deformare existentă în masiv în faza inițială, măsurarea deformațiilor putîndu-se realiza fie pe pereții laterali ai găurii de mină, fie pe fundul acesteia.

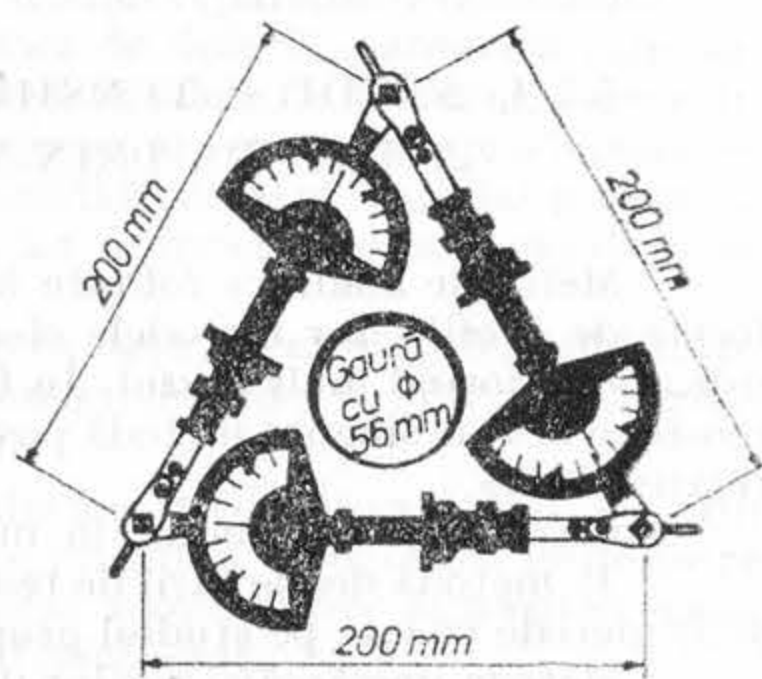


Fig. XVI.63. Procedeul descărcării parțiale de tensiuni.

Măsurarea deformațiilor pereților laterali se realizează cu ajutorul unui *deformometru* (fig. XVI.64), iar măsurarea deformațiilor pe fundul găurii de mină se realizează fie cu ajutorul mărcilor tensometrice (fig. XVI.65), fie prin fotoelasticitate (fig. XVI.66).

Fig. XVI.64. Modul de realizare a simbului de rocă în procedeul descărcării totale de tensiuni:

1 — coroană rotativă de forare; 2 — axul aparatului de măsurare a deformațiilor; 3 — deformometru; 4 — nucleul de rocă eliberată de tensiune.

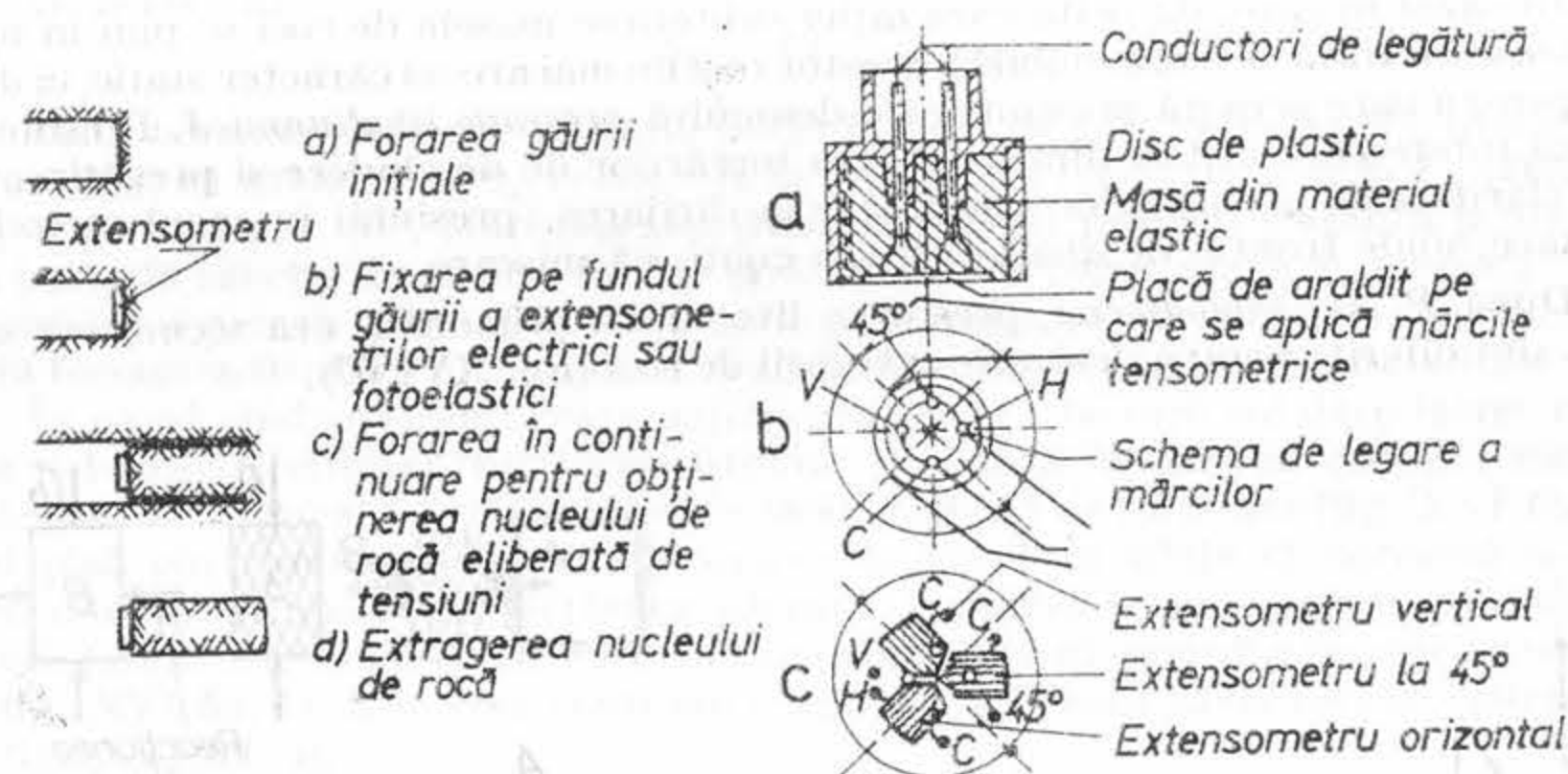
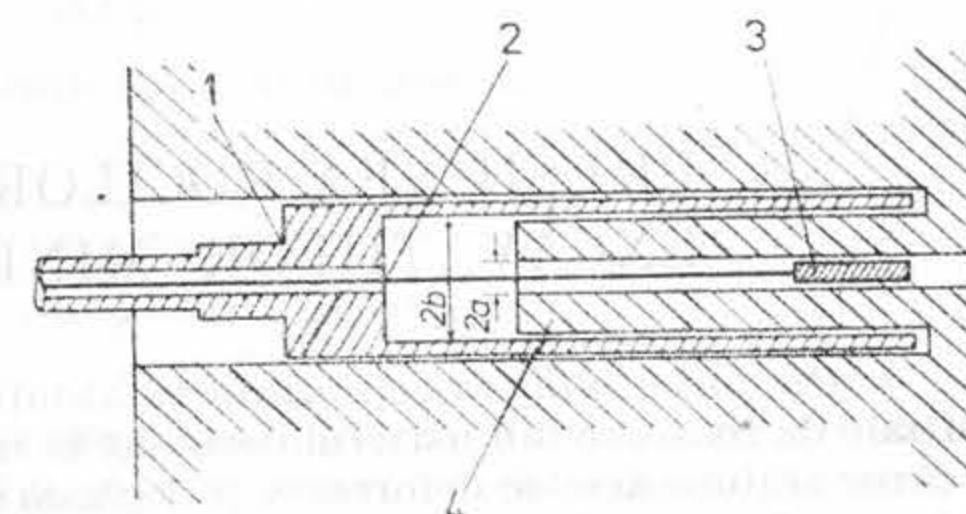


Fig. XVI.65. Măsurarea deformațiilor pe fundul găurii prin:

a — capul dispozitivului cu ajutorul căruia se fixează mărcile tensometrice pe fundul găurii; b — schema electrică de legare a mărcilor tensometrice; c — amplasarea mărcilor tensometrice pe fundul găurii.

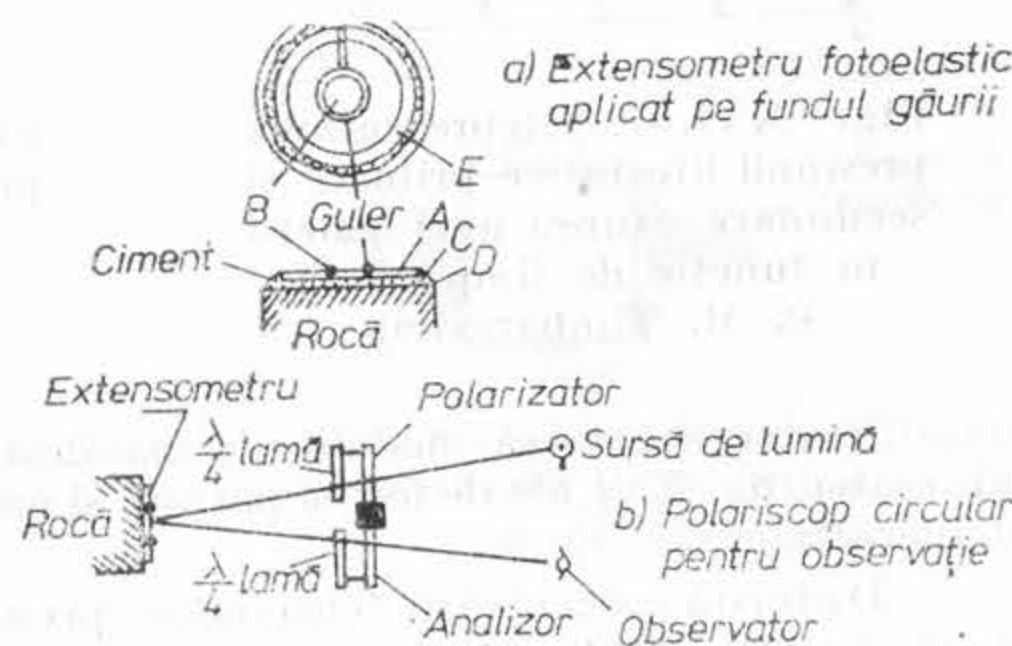


Fig. XVI.66. Măsurarea deformațiilor pe fundul găurilor după procedeul lui Howkes.

Metoda găurilor de mină este asemănătoare celei precedente. Metodele bazate pe studiul propagării undelor au fost tratate anterior. Cele mai bune rezultate în studiul tensiunilor le dau metodele care rezultă din combinarea metodelor teoretice cu verificarea practică a acestora.

3.3. PRESIUNEA ROCILOR ÎNCONJURĂTOARE ASUPRA EXCAVAȚIILOR MINIERE SUBTERANE

Presiunea minieră reprezintă totalitatea forțelor generate de redistribuirea stării inițiale de tensiune din masivul deranjat în urma executării lucrărilor miniere, forțe sub a căror acțiune are loc deformare și deplasarea rocilor înconjurătoare. Această presiune acționează asupra lucrărilor miniere de deschidere și pregătire.

În cazul în care, datorită excavației subterane masele de roci se pun în mișcare, presiunea exercitată de masa mobilă a acestor roci nu mai are un caracter static, ci dinamic, motiv pentru care această presiune este denumită *presiune litodinamică*. Presiunea litodinamică interesează atât la dimensionarea lucrărilor de deschidere și pregătire, cât mai ales la clarificarea problemelor referitoare la dirijarea presiunii în cazul metodelor de exploatare, unde frontul de abataj este în continuă mișcare.

După P. M. Țimbarevici, presiunea litostatică primară și cea secundară sau stabilizată sînt diferite pentru diversele categorii de roci (fig. XVI.67).

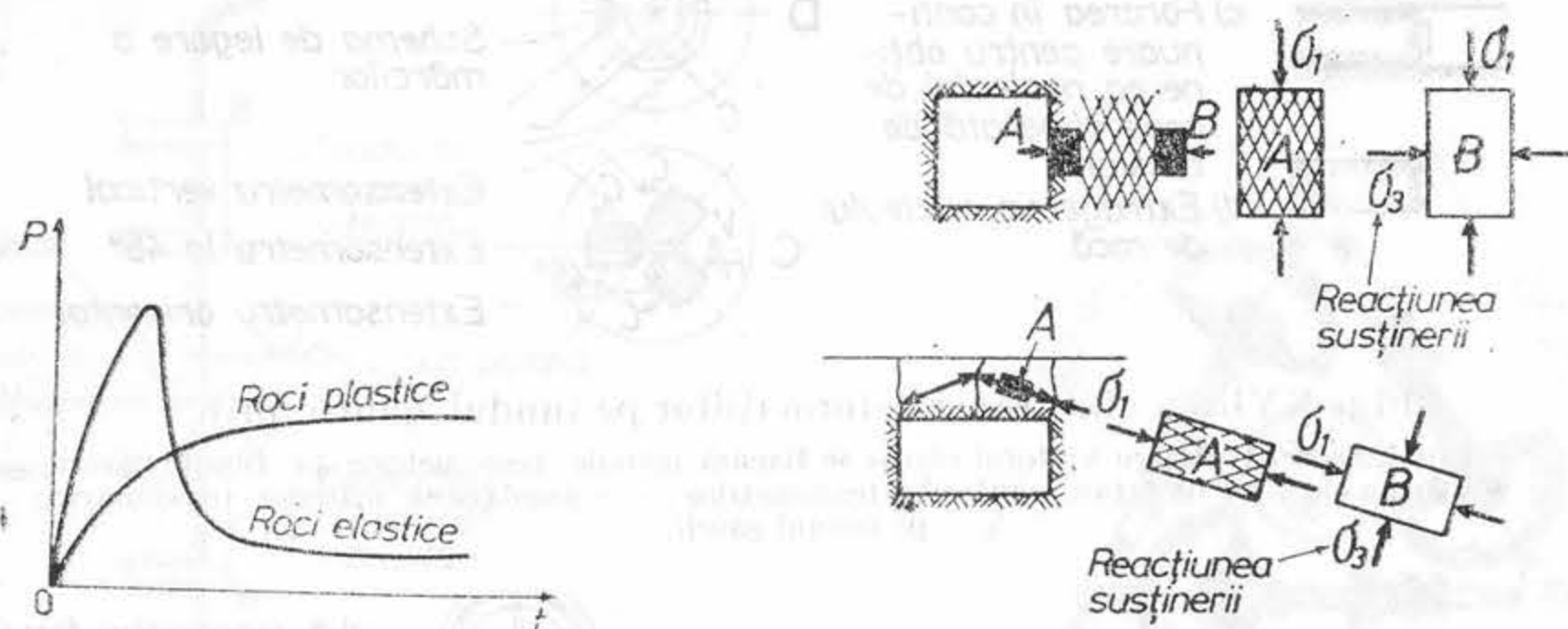


Fig. XVI.67. Reprezentarea presiunii litostactice primare și secundare asupra unei galerii în funcție de timp (după P. M. Țimbarevici).

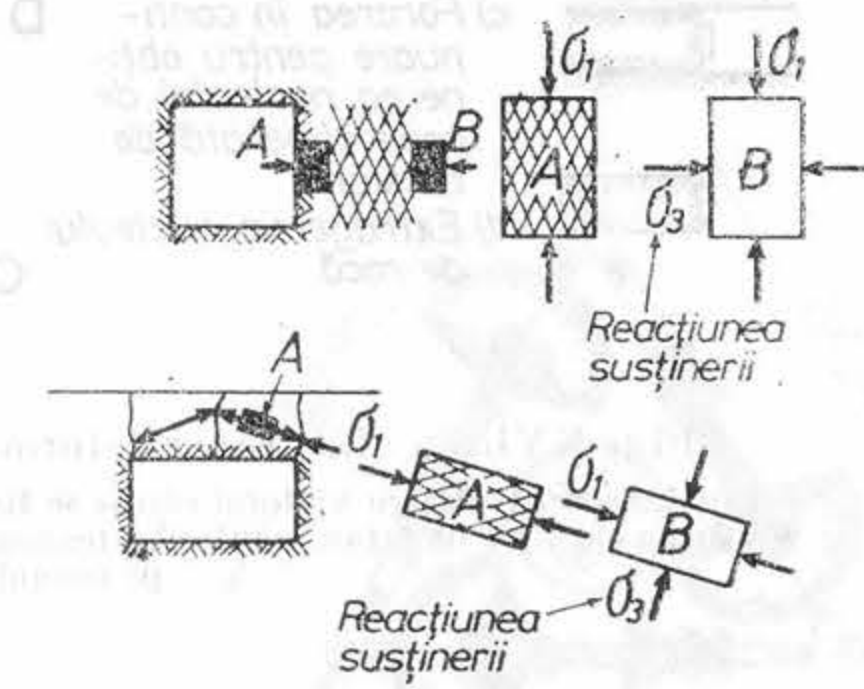


Fig. XVI.68. Formarea fisurilor în pereții și tavanul unei galerii și efectul susținerii.

Pentru ilustrarea modului de manifestare a presiunii, se consideră o excavație subterană (fig. XVI.68) de formă pătrată și un element A care se află pe peretele lateral al lucrării.

Datorită concentrării tensiunilor, presiunea care va acționa asupra elementului după direcția z va fi cu ceva mai mare decât σ_z .

Dacă se notează presiunea maximă de compresiune cu σ_1 și reacțiunea susținerii cu σ_3 , se va putea scrie ecuația de stabilitate a unui element sub forma :

$$\sigma_1 = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} + j \sigma_3 \quad (3.31)$$

După cum se știe, la marginea excavației $\sigma_3 = 0$, în care caz :

$$\sigma_1 = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (3.32)$$

Pentru un unghi de frecare interioară $\varphi = 37^\circ$, se obține :

$$\sigma_1 = 4c.$$

Dacă $\sigma_1 < 4c$, adică tensiunea de compresiune depășește rezistența rocii, fisurarea de forfecare se va extinde pînă la elementul B, unde se presupune că se dezvoltă o tensiune naturală σ_3 , suficient de mare pentru a opri fisurarea de forfecare.

În acest caz :

$$\sigma_1 = 4c + j \sigma_3 \quad (3.33)$$

Rolul tensiunii laterale naturale poate fi jucat de susținere. Astfel, prin montarea unei susțineri cu o reacțiune σ_3 , rezistența la forfecare a rocii crește de la $4c$ pînă la $4c + 4\sigma_3$ — pentru $\varphi = 37^\circ$. Mărirea reacțiunii susținerii poate fi stabilită pentru fiecare caz în parte în funcție de natura rocilor și de modul de comportare a acestora. Situația este similară și pentru tavanul lucrării, unde prin aplicarea unei susțineri cu reacțiunea σ_3 se evită formarea fisurilor de întindere, realizându-se astfel condiția de stabilitate necesară.

În cazul cînd presiunile care acționează asupra lucrării miniere întrec rezistența rocilor — lucrarea minieră fiind nesusținută, sau dacă susținerea cedează foarte mult — se formează în jurul lucrării miniere o serie de fisuri de forfecare (fig. XVI.69), care se extind pînă cînd tensiunile naturale orizontale vor fi capabile să oprească forfecarea. Pentru o lucrare minieră cu secțiunea pătrată, fisurarea începe de la colțuri spre tavan și pereții laterali, această lucrare tinzînd în primă fază să devină o lucrare minieră circulară (fig. XVI.69, b), fisurarea continuînd apoi ca și pentru cazul lucrării miniere circulare (fig. XVI.69, a).

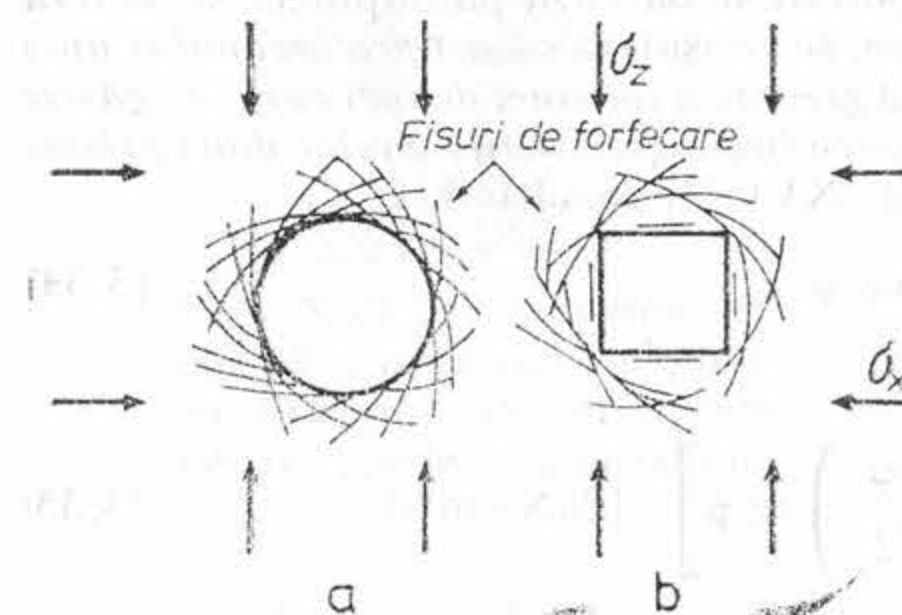


Fig. XVI.69. Formarea fisurilor de forfecare în jurul unei galerii :

a — modul de formare a fisurilor în jurul unei lucrări miniere cu secțiune circulară; b — modul de formare a fisurilor în jurul unei lucrări miniere cu secțiune pătrată.

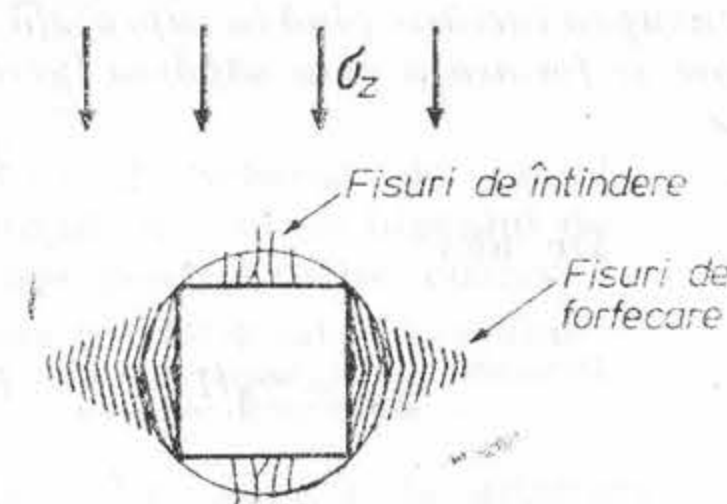


Fig. XVI.70. Formarea fisurilor de forfecare și de întindere la o galerie orizontală.

Directia fisurilor de forfecare formează un unghi de $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$, cu o rază aleasă în acest punct.

Cînd asupra lucrării acționează numai tensiuni verticale, pe lîngă fisurile de forfecare se vor produce în tavanul și vatra lucrării miniere și fisuri de întindere care, așa după cum se știe, sînt foarte periculoase (fig. XVI.70). Studiul presiunilor poate fi realizat prin metode teoretice, prin măsurători directe sau prin metoda materialelor echivalente

3.3.1. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA LUCRĂRIILOR MINIERE ORIZONTALE

3.3.1.1. Presiunea din tavan

Totalitatea ipotezelor referitoare la mărimea presiunii rocilor din tavanul lucrării miniere orizontale pot fi împărțite în două mari grupe și anume:

— ipoteze care consideră că *asupra tavanului unei lucrări miniere acționează întreaga greutate a coloanei stratigrafice de rocă pînă la suprafață*;

— ipoteze care iau în considerare *formarea unei bolți de echilibru natural*.

Pentru ambele grupe au fost create atît ipoteze simplificate, care consideră presiunea rocilor ca o mărime ce nu depinde de susținere, cît și ipoteze care consideră presiunea ca rezultat al interacțiunii dintre susținere și rocile înconjurătoare.

Ipoteze bazate pe presupunerea că presiunea litostatică asupra tavanului este dependentă de grosimea formațiunilor de roci acoperitoare. Aceste ipoteze sînt create în special pentru cazul cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mică față de suprafață, fiind mult folosite în cazul tunelurilor. Din multitudinea de ipoteze care fac parte din această grupă, aici vor fi tratate doar cîteva dintre cele mai reprezentative, pentru cazul rocilor pămîntoase lipsite de coeziune sau cu coeziune mică, cît și pentru cazul rocilor coezive.

Roci fără coeziune sau cu coeziune mică. Ipoteza se bazează pe împingerea activă asupra zidurilor de sprijin. Conform acestei ipoteze, se consideră că *asupra tavanului unei lucrări miniere de orice formă geometrică acționează greutatea coloanei de roci care se găsesc deasupra lucrării pînă la suprafață, mai puțin valoarea împingerii active a celor două prisme care se formează prin săparea lucrării miniere* (fig. XVI.71) rezultînd:

$$P_v = Q - 2D \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.34)$$

De aici:

$$P_v = \gamma_a H \left[2a - H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi \right] \text{ [daN/cm}^2 \text{]} \quad (3.35)$$

Pentru ca rocile să se găsească în echilibru sau, cu alte cuvinte, pentru ca asupra lucrării miniere să nu acționeze nici un fel de presiune, este necesar ca greutatea coloanei de roci care acționează asupra lucrării să fie preluată de împingerea provocată de cele două prisme laterale care se formează, adică:

$$Q = 2D \operatorname{tg} \varphi$$

sau:

$$2aH\gamma_a = \gamma_a H^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi$$

de unde:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} \text{ [m]} \quad (3.36)$$

Aceasta este adîncimea pînă la care ipoteza — în condițiile enunțate — este valabilă. În general, această ipoteză este valabilă pentru cazul cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mică față de suprafață. Astfel dacă se consideră: $2a = 4 \text{ m}$ și $\varphi = 40^\circ$ rezultă:

$$H = \frac{4,0}{\operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - 40^\circ}{2} \right) \operatorname{tg} 40^\circ} \cong 22 \text{ m}$$

Cu alte cuvinte, dacă lucrarea este amplasată la o adîncime mai mare de 22 m, această ipoteză nu mai este aplicabilă, fiind necesară aplicarea unei ipoteze din grupa celor care consideră formarea unor bolți de echilibru natural.

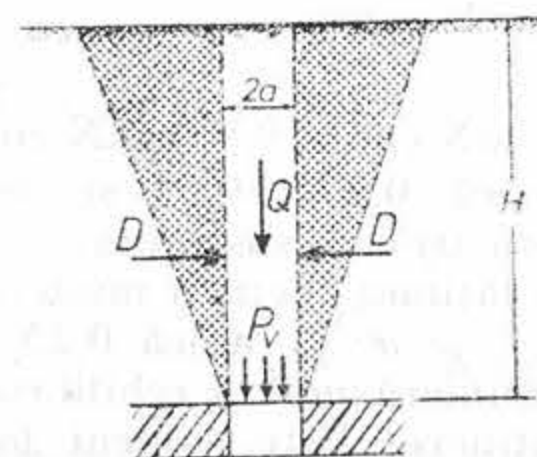


Fig. XVI.71. Schema de calcul a presiunii în ipoteza blocului de alunecare pentru rocile fără coeziune.

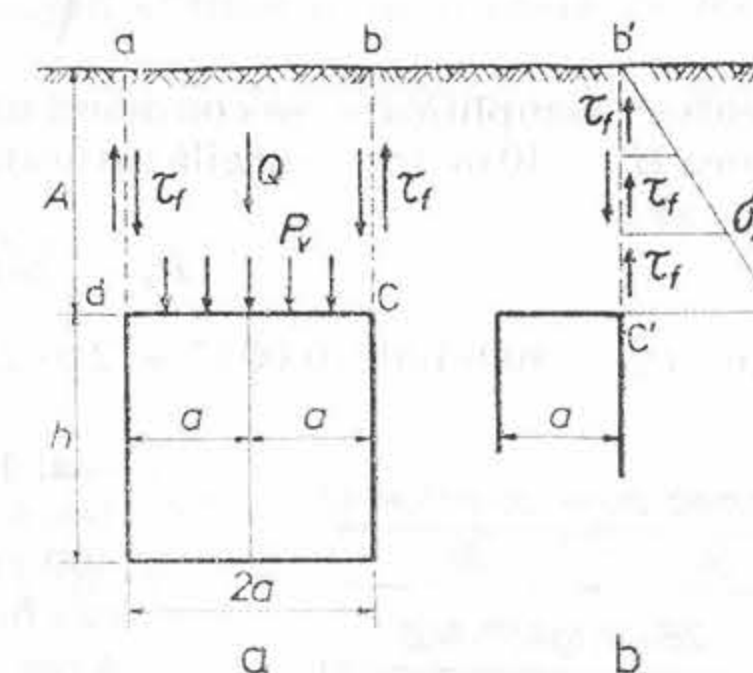


Fig. XVI.72. Schema de calcul a presiunii în ipoteza blocului de alunecare pentru rocile coezive:

a — schema generală de calcul a presiunii;
b — formarea tensiunilor laterale datorită tensiunilor de forfecare.

Astfel, pentru o lucrare minieră cu lățimea $2a = 2 \text{ m}$, săpată la adîncimea de 10 m, într-o formațiune de roci cu $\varphi = 40^\circ$; $\operatorname{tg} \varphi = 0,84$; $f = 2$ și $\gamma_a = 1,8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$, adîncimea de la care în jos se formează bolți de echilibru natural va fi:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} = \frac{2}{\operatorname{tg}^2 25^\circ \cdot \operatorname{tg} 40^\circ} \cong 11 \text{ m}$$

Roci coezive. Aici fiind vorba de roci coezive, se va lua în considerare tensiunea de forfecare după planurile *ad* și *bc* (fig. XVI.72), rezultând:

$$P = Q - 2\tau \quad (3.37)$$

Pentru rocile argiloase care au coeziune dar nu au frecare interioară rezultă:

$$P = 2H(a\gamma_a - c). \quad (3.38)$$

În condițiile de echilibru:

$$a \cdot \gamma_a \leq c \quad (3.39)$$

Dacă lucrarea minieră se sapă într-o rocă care are atât coeziune cât și frecare interioară, se obține:

$$P_v = 2H \left[a\gamma_a - \left(c + \frac{1}{2} \sigma_x \operatorname{tg} \varphi \right) \right] \quad (3.40)$$

În condiții de echilibru:

$$a \cdot \gamma_a \leq \left(c + \frac{1}{2} \sigma_x \operatorname{tg} \varphi \right) \quad (3.41)$$

Pentru exemplificare, se consideră că o lucrare minieră cu $2a = 4$ m a fost săpată la adâncimea $H = 10$ m, într-o argilă saturată, cu $c = 0,25$ daN/cm² și $\gamma_a = 1,7 \cdot 10^4$ N/m³. În acest caz:

$$P_v = 2aH \cdot \gamma_a - 2cH$$

sau $P_v = 400 \cdot 1000 \cdot 0,0017 - 2 \cdot 0,25 \cdot 1000 = 180$ daN/cm = 0,45 daN/cm², iar:

$c < a \cdot \gamma_a$, adică $0,25 < 0,34$ și, în acest caz, lucrarea minieră trebuie susținută.

Dacă se va micșora lățimea lucrării miniere de la 400 cm la 280 cm: $c > a \cdot \gamma_a$, adică $0,25 > 0,24$, caz în care lucrarea minieră va fi în echilibru, fără a avea nevoie de susținere. Este evident faptul că valoarea presiunii calculate este mărimea care acționează asupra susținerii imediat după săparea lucrării miniere. După o perioadă mai îndelungată de timp — fiind vorba aici de argile saturate — presiunea va crește treptat pînă la valoarea greutatei coloanei de rocă care se găsește deasupra lucrării. Faptul că presiunea maximă se dezvoltă după o perioadă mai îndelungată de timp, permite folosirea în faza inițială a unei susțineri provizorii mai ușoare, aceasta fiind urmată de o susținere definitivă cu portanță sporită.

K. V. Terzaghi, plecînd de la ipoteza lui Iannsen și Bin, consideră că în cazul materialelor granulare care mai posedă și o oarecare coeziune

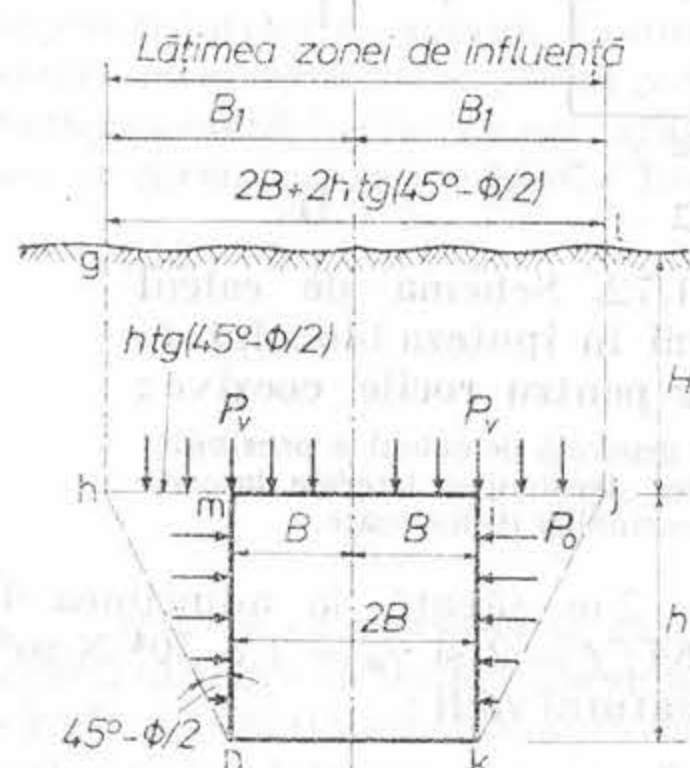


Fig. XVI.73 Schema de calcul a presiunii pentru rocile granulare (după K. V. Terzaghi).

(fig. XVI.73). presiunea poate fi stabilită cu relația:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \frac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg} \varphi} \left[1 - e^{-K \operatorname{tg} \varphi \frac{H}{B_1}} \right] \quad [\text{daN/cm}^2] \quad (3.42)$$

în care:

$$B_1 = B + h \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.43)$$

K — coeficient care variază de la valoarea unitară, pentru mijlocul susținerii, la 1,5 pentru cele două limite laterale.

Dacă H/B este mare, valoarea termenului exponențial se apropie de zero și formula devine:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \frac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg} \varphi} \quad (3.44)$$

Această relație poate fi aplicată cînd $H/B = 4-5$, adică atunci cînd lucrarea minieră este amplasată la o adâncime mai mare de cel puțin 2-3 ori lățimea lucrării.

Cînd $c \geq B_1 \cdot \gamma_a$, presiunea verticală asupra susținerii va fi egală cu zero, adică lucrarea minieră se va autosusține.

Pentru exemplificare, se consideră că o lucrare cu $B = 200$ cm și $h = 360$ cm este săpată într-o rocă granulară cu $\varphi = 37^\circ$;

$$\gamma_a = 0,0016 \text{ daN/cm}^3 \text{ și } c = 0$$

În acest caz:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \frac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg} \varphi} = 380 \frac{0,0016 - \frac{0}{380}}{1 \cdot 0,75} = 0,8 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă roca va poseda o coeziune de $c = 0,25$ daN/cm², vom avea:

$$P_v = 380 \frac{0,0016 - \frac{0,25}{380}}{1 \cdot 0,75} = 0,5 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru acest caz:

$$B_1 \gamma_a > c, \text{ adică } 0,6 > 0,25$$

Pentru ca lucrarea minieră să se autosusțină este necesar ca roca să posede o coeziune de cel puțin 0,6 daN/cm².

Ipoteze bazate pe presupunerea că presiunea litostatică asupra tavanului este independentă de grosimea formațiunilor de roci acoperitoare. Din această grupă fac parte mai multe ipoteze care sînt asemănătoare între ele:

Astfel, W. Ritter consideră că în tavanul lucrării miniere se formează o boltă de echilibru închisă de o curbă de ecuație (fig. XVI.74):

$$y = \frac{\gamma a \cdot x}{4 \sigma_t} \cdot (d - x) \quad (3.45)$$

În consecință presiunea care va acționa asupra tavanului va fi dată de greutatea rocilor din interiorul boltii (pentru o lungime pe direcție de 1 m), mai puțin forțele de coeziune ale rocii care se manifestă ca rezistențe la tracțiune, rezultînd:

$$P_v = Q - D \quad (3.46)$$

După efectuarea calculelor se obține:

$$P_v = Q - D = \gamma a \cdot d \left(\frac{\gamma a d^2}{48 \sigma_t} - \frac{\sigma_t}{\gamma a} \right) \text{ [daN/cm}^2 \text{]} \quad (3.47)$$

Dacă $P_v < 0$, asupra tavanului lucrării miniere nu va exista presiune, deoarece greutatea rocii în acest caz este mai mică decît coeziunea rocii respective.

Dacă însă $P > 0$, atunci lucrarea minieră trebuie susținută. Această ipoteză dă rezultate satisfăcătoare la dimensionarea camerelor de exploatare la minele de sare. În general, ea este aplicabilă rocilor coezive.

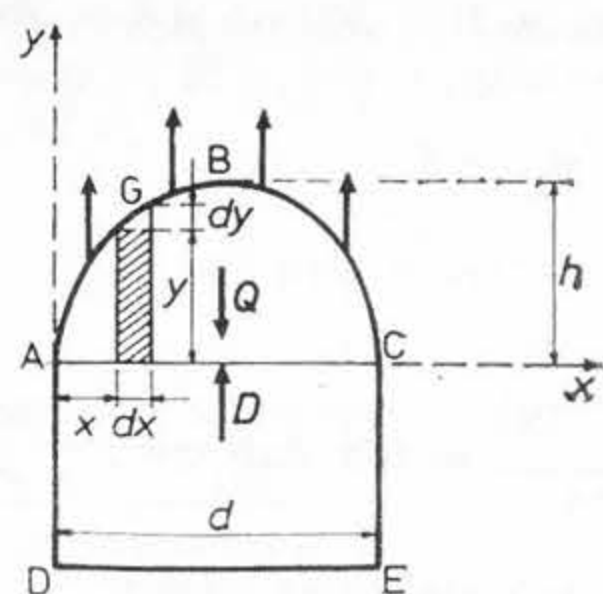


Fig. XVI.74. Schema de calcul a presiunii (după W. Ritter).

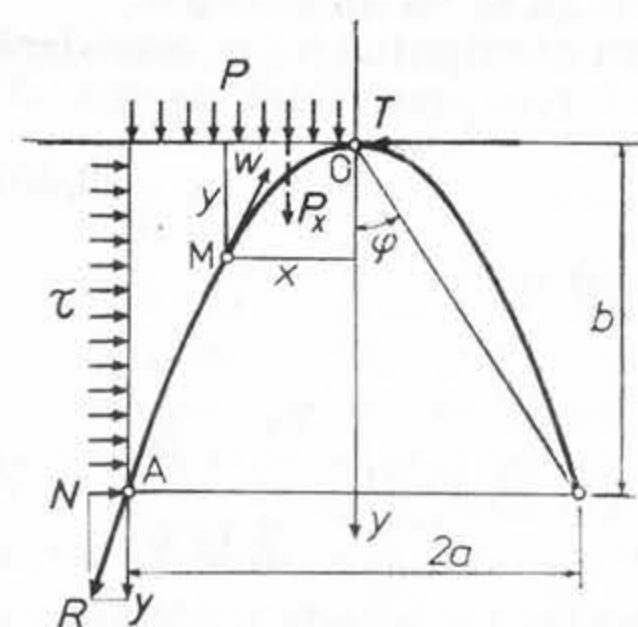


Fig. XVI.75. Formarea boltii de echilibru deasupra tavanului unei lucrări miniere orizontale (după M. M. Protodiakonov).

M. M. Protodiakonov consideră că în tavanul lucrării se formează o boltă parabolică de echilibru (fig. XVI.75):

$$y = \frac{Px^2}{2T} \quad (3.48)$$

Datorită tensiunilor, rocile din interiorul boltii sînt sfărîmate, acționînd cu greutatea lor asupra susținerii, rezultînd:

$$\text{— pentru cazul rocilor tari } P_{min} = \frac{\gamma a a^2}{f} \text{ [daN/cm}^2 \text{]} \quad (3.49)$$

$$\text{— pentru cazul rocilor moi } P_{max} = \frac{4}{3} \frac{\gamma a \cdot a^2}{f} \text{ [daN/cm}^2 \text{]} \quad (3.50)$$

Presupunînd că asupra tavanului acționează presiunea reală P , rezultă:

$$P_{max} > P > P_{min} \quad (3.51)$$

$$\text{Pentru roci moi: } P > \frac{P_{max} + P_{min}}{2}$$

$$\text{Pentru roci tari } P < \frac{P_{max} + P_{min}}{2}$$

$$\text{Pentru roci cu tărie medie } P = \frac{P_{max} + P_{min}}{2}$$

Protodiakonov a stabilit și adîncimea de la care formulele sale devin aplicabile și anume:

$$H = \frac{2a}{\text{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right) \text{tg} \varphi} \quad (3.52)$$

Datorită ușurinței de calcul cu relațiile lui Protodiakonov, acestea sînt foarte des întîlnite în practică, fiind folosite la proiectarea lucrărilor miniere.

Astfel, dacă se consideră că într-o rocă cu $\gamma a = 2,2 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$ și $f = \text{tg} \varphi = 3,5$ a fost săpată o lucrare minieră cu lățimea $2a = 4,5 \text{ m}$, conform ipotezei lui Protodiakonov, presiunea maximă se determină cu relația:

$$P_{max} = \frac{4}{3} \frac{\gamma a \cdot a^2}{f} = \frac{4}{3} \cdot \frac{2,2 \cdot 2,2}{3,5} = 0,093 \text{ daN/cm}^2.$$

Înălțimea boltii de echilibru va fi:

$$h = \frac{a}{\text{tg} \varphi} = \frac{2,25}{3,5} = 0,64 \text{ m.}$$

H. L a b a s s e pornește de la considerentul că în rocile înconjurătoare lucrărilor miniere se formează trei zone:

— zona tensiunilor reduse, în care rocile datorită tensiunilor de pe contur se găsesc în stare plastică sau clastică;

— zona tensiunilor mărite;

— zona în care tensiunile se apropie de valcarea tensiunilor din masiv.

Pentru stabilirea presiunii care acționează asupra susținerii sau reacțiunea susținerii, în cazul când lucrarea minieră este săpată în roci elastice lipsite de coeziune, Labasse pornește de la ecuația (3.18), de unde determină:

$$p = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1} - \frac{3}{2} \frac{\gamma_a \cdot a}{j-2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] \cdot \cos \omega \quad (3.53)$$

Dacă se analizează în mod separat fiecare termen al expresiei, notind:

$$p = P_{iA} + P_{iB}$$

unde:

$$P_{iA} = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1} \text{ și } P_{iB} = - \frac{3}{2} \frac{\gamma_a \cdot a}{j-2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] \cos \omega \quad (3.54)$$

se vor putea desprinde o serie de concluzii și anume:

Prima expresie, adică P_{iA} , reprezintă mărimea tensiunilor radiale necesare pentru neutralizarea tensiunilor orizontale ale rocii și stabilirea echilibrului la limita zonei elastice. Ea nu depinde de unghiul ω , avînd aceeași valoare de jur-împrejurul lucrării (fig. XVI.76).

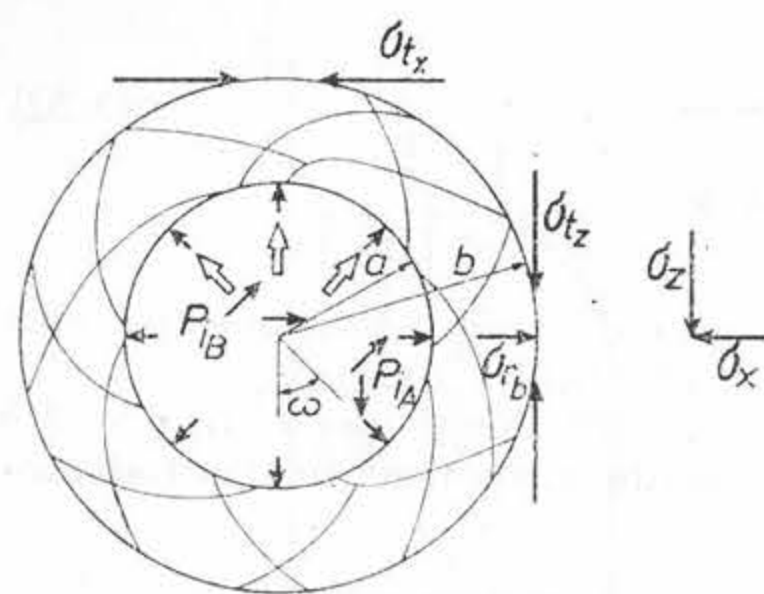


Fig. XVI.76. Modul de manifestare a presiunilor pe conturul lucrării orizontale circulare (după ipoteza lui Labasse).

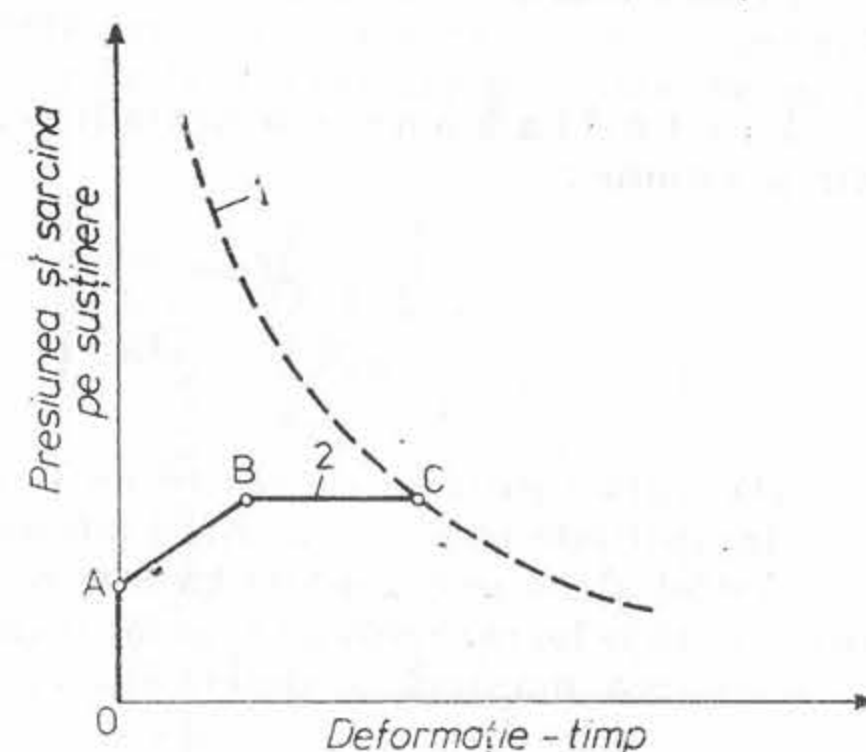


Fig. XVI.77. Interacțiunea dintre rocă și susținere după ipoteza lui Labasse: 1 — curba de relaxare a rocilor, respectiv curba de variație a presiunii în timp; 2 — curba caracteristică a susținerii; OA — sarcina de pretensionare; AB — deformația simultană a rocii și a susținerii; BC — prin depășirea portanței susținerii, aceasta cedează; C — starea de echilibru dintre rocă și susținere.

Expresia următoare P_{iB} definește valoarea presiunilor verticale, care variază în funcție de ω . Se observă că această valoare devine maximă pentru $\omega = 180^\circ$ (unghiul se măsoară în sens invers acelor ceasornicului, pornind de la axa verticală orientată în jos).

Se constată că presiunea maximă va lua naștere la partea superioară (tavanul lucrării), descrescînd în mod corespunzător, astfel încît se va ajunge ca la extremitățile diametrului orizontal $\omega = 90^\circ$ sau 270° aceasta să fie egală cu zero.

Pentru cazul cînd $b = a$, adică nu s-a produs nici o forfecare, iar limita zonei elastice coincide cu perimetrul orificiului, se observă că $P_B = 0$. În acest caz, asupra lucrării miniere nu vor mai acționa decît tensiunile radiale. Tot de aici se trage concluzia că presiunile verticale sînt date de greutatea rocii care se găsește în interiorul zonei elastice (zona sfărîmată), aceste presiuni fiind cu atît mai mari cu cît raza zonei elastice este mai mare.

Situația analizată ne arată că după săparea lucrării miniere roca se poate găsi într-o stare elastică — cînd nu se formează zona de rocă sfărîmată, sau într-o stare elasto-elastică — cînd are loc formarea acestei zone.

În concepția lui Labasse, mecanismul interacțiunii dintre susținere și rocile încojurătoare — pentru cazul unei susțineri cu portanță controlată — este redat în fig. XVI.77.

Se constată, din această figură, că mărimea presiunii este influențată în mod direct de reacțiunea susținerii, de modul ei de comportare, de timpul scurs între procesul de săpare și cel de susținere etc.

Un caz frecvent întîlnit în subteran este acela cînd lucrarea minieră se sapă în argile saturate sau parțial saturate cu apă.

Argilele saturate sînt, în general, argile care nu au frecare interioară ($\varphi = 0$). Aceste argile, chiar după supunerea lor la forfecare, mai posedă o coeziune de pînă la $0,5 \text{ daN/cm}^2$, cedînd lent — asemănător cu un lichid viscos — sub acțiunea presiunii.

Cînd argilele nu sînt complet saturate, acestea mai posedă pe lîngă coeziune și frecare interioară.

Pentru studiul presiunii verticale, care acționează asupra tavanului unei lucrări miniere circulare executate în astfel de roci, Caquot și Kerisel au stabilit următoarea ecuație:

$$P_{iv} = \frac{\gamma_a \cdot H}{j-2} \left[\frac{a}{H} - \left(\frac{a}{H} \right)^{j-2} \right] - T \left[1 - \left(\frac{a}{H} \right)^{j-1} \right] \quad (3.55)$$

în care: $T = c \cdot \text{ctg } \varphi$ și se determină din *cercul lui Mohr*.

Această ecuație prezintă două discontinuități și anume:

— pentru $\varphi = 20^\circ$; $j - 2 = 0$. Ca atare, valoarea primului termen al ecuației este nedeterminată și ecuația devine:

$$P_{iv} = a \cdot \gamma_a \cdot 2,3 \cdot \log \frac{H}{a} - T \left[1 - \left(\frac{a}{H} \right)^{j-1} \right]; \quad (3.56)$$

— pentru $\varphi = 0^\circ$; $j - 1 = 0$. Ca atare, termenul al doilea este nedeterminat și ecuația devine:

$$P_{iv} = a \cdot \gamma_a \left[\frac{H}{a} - 1 \right] - 4,6 \cdot c \cdot \lg \frac{H}{a} \quad (3.57)$$

Pentru o interpretare corectă a relațiilor stabilite, în continuare se prezintă cîteva cazuri tipice.

Lucrare minieră săpată la adâncime mică în roci clastice. Dacă se pune problema determinării tensiunilor și mărimii presiunilor în jurul unei lucrări miniere orizontale cu secțiune circulară, săpată într-o rocă granulară lipsită de coeziune, pentru care se consideră că $\sigma_z > \sigma_x$ în următoarele condiții:

- greutatea specifică aparentă a rocilor $\gamma = 1,6 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$;
- raza lucrării $a = 150 \text{ cm}$;
- raza zonei clastice $b = 300 \text{ cm}$;
- adâncimea la care este amplasată lucrarea minieră $H = 3000 \text{ cm}$;
- unghiul de frecare interioară a rocilor $\varphi = 37^\circ$, se obține:

$$j = 4; j - 1 = 3; j - 2 = 2; i = \frac{1}{4} = 0,25;$$

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = 0,0016 \cdot 3000 = 4,8 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_x = \sigma_y = i \cdot \sigma_z = \frac{1}{4} \cdot 4,8 = 1,2 \text{ daN/cm}^2.$$

În limita zonei clastice, la capetele celor două diametre, tensiunile se calculează cu relațiile:

$$\sigma_{tz} = 3\sigma_z - \sigma_x = 3 \cdot 4,8 - 1,2 = 13,2 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_{tx} = 3\sigma_x - \sigma_z = 3 \cdot 1,2 - 4,8 = -1,2 \text{ daN/cm}^2;$$

Valoarea tensiunii tangențiale $\sigma_{tx} = -1,2 \text{ daN/cm}^2$ reprezintă tensiuni de întindere. Datorită faptului că în rocile clastice, unde $c = 0$, nu pot exista tensiuni de întindere, tensiunile vor avea valoarea:

$$\sigma_{tx} = i \cdot \sigma_z = 1,2 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea verticală pe susținere se datorește în parte tensiunii radiale necesare pentru oprirea expansiunii zonei clastice, precum și greutateii rocii din zona clastică. Astfel se va determina:

$$P_{iAv} = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^3;$$

$$\sigma_{rb} = \sigma_{tx} \frac{1}{2} (1 - \sin \varphi) = 1,2 \cdot 0,2 = 0,24 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{iAv} = 0,24 \cdot 0,25 = 0,03 \text{ daN/cm}^2.$$

Aceasta este mărimea presiunii pe susținere, necesară pentru limitarea zonei clastice.

Presiunea verticală asupra susținerii, necesară pentru stabilizarea rocii în zona sfărâmată, datorită greutateii acesteia va fi:

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma_a \cdot a}{j - 2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,0016 \cdot 150}{2} \left[1 - \left(\frac{150}{300} \right)^2 \right] =$$

$$= 0,18 \cdot 0,75 = 0,135 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea totală asupra susținerii la cheia bolții va fi:

$$P_{iv} = P_{iAv} + P_{iBv} = 0,03 + 0,135 = 0,165 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea orizontală la extremitățile diametrului orizontal va fi:

$$P_{iAh} = \sigma_{rBh} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1};$$

$$\sigma_{rBh} = \sigma_{tz} \cdot \frac{1}{2} (1 - \sin \varphi) = 13,2 \cdot \frac{1}{5} = 2,65 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{iAh} = 2,65 \cdot 0,125 = 0,33 \text{ daN/cm}^2.$$

Modul de acționare a tensiunilor și presiunilor pentru exemplul studiat este redat în fig. XVI.78.

În cazul studiat anterior, s-a presupus că zona clastică se extinde numai pînă la o distanță oarecare b de la centrul lucrării. Cînd adâncimea la care se sapă lucrarea minieră este foarte mică, este posibil ca zona clastică să se extindă pînă la suprafață. În acest caz, folosind datele anterioare, se va determina pentru $b = 3000 \text{ cm}$:

$$\frac{a}{b} = \frac{150}{3000} = \frac{1}{20}$$

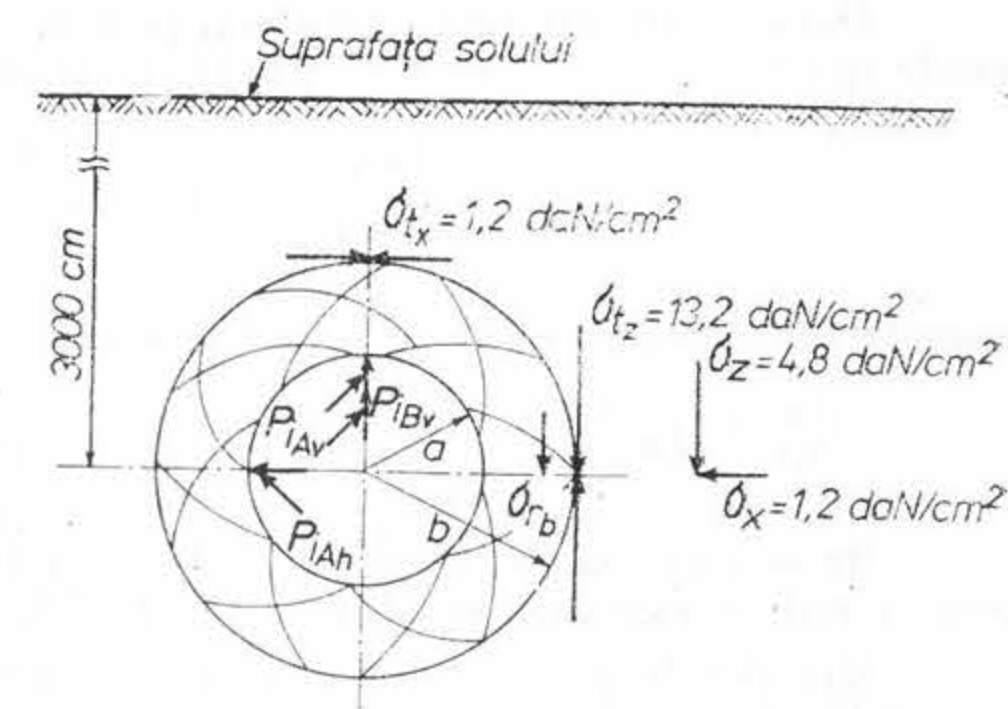


Fig. XVI.78. Mărimea tensiunilor și a presiunilor în jurul unei lucrări miniere circulare.

și deci:

$$P_{iAh} = \sigma_{rBh} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1} = 2,65 \left(\frac{1}{20} \right)^3 = 0,000332 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în acest caz, presiunea orizontală asupra susținerii este neglijabilă.

Și în acest caz, presiunea verticală asupra susținerii se compune din $P_{iAv} + P_{iBv}$. Când zona elastică se extinde până la suprafață și lateral, pe o distanță considerabilă, presiunea verticală P_{iAv} devine atât de mică încât ea poate fi neglijabilă. În consecință, presiunea verticală care va acționa asupra susținerii va fi dată numai de parte a doua a ecuației și anume:

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \frac{\gamma a \cdot a}{j-2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,0016 \cdot 150}{2} \left[1 - \left(\frac{1}{20} \right)^2 \right] = 0,1795 \text{ daN/cm}^2.$$

Presupunind, deci, că zona elastică se va extinde până la suprafață, presiunea verticală asupra susținerii se va apropia de valoarea limită minimă de $0,18 \text{ daN/cm}^2$, indiferent de adâncimea lucrării față de suprafață. Pentru cazul când $\frac{b}{a} > 3$, termenul

$\left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right]$ poate fi neglijat și atunci ecuația devine:

$$P_v = \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma a \cdot a}{j-2}$$

Această mărime reprezintă presiunea la cheia bolții, presiune care descrește pe măsura apropierei de capetele diametrului orizontal.

Până în prezent problema a fost studiată pentru cazul când roca nu posedă nici un fel de coeziune. În cazul în care roca mai posedă o oarecare coeziune—caz care se întâlnește mai frecvent—atunci tensiunea tangențială se reduce ca valoare, iar tensiunea radială necesară pentru echilibru se va reduce și ea în mod proporțional.

Dacă se presupune că roca mai posedă o coeziune de $0,244 \text{ daN/cm}^2$, ceea ce corespunde (pentru $\varphi = 37^\circ$) unei rezistențe de rupere la compresiune de:

$$Q = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} = 2 \cdot 0,244 \frac{0,8}{1 - 0,6} = 0,88 \text{ daN/cm}^2.$$

considerând condiții similare ca și în cazul anterior unde $\sigma_{tz} = 13,22 \text{ daN/cm}^2$, rezultă:

$$\sigma_{rb} = (\sigma_t - Q) \frac{1}{2} (1 - \sin \varphi) = (13,2 - 0,88) \cdot 0,2 = 2,46 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că tensiunea radială se reduce de la $2,65 \text{ daN/cm}^2$ la $2,46 \text{ daN/cm}^2$, ceea ce reduce mărimea presiunii cu circa 7%, reducere care este foarte mică.

Din datele problemei anterioare rezultă că lucrarea minieră este stabilă fără a necesita nici un fel de susținere, dacă roca are o rezistență de minimum $13,2 \text{ daN/cm}^2$. Această condiție este îndeplinită de argilele dure, șisturi etc.

Lucrare minieră săpată la adâncime mare, în roci rezistente cu coeziune mare. Până în prezent a fost studiată și determinată mărimea presiunii asupra susținerii în cazul unor lucrări miniere situate la adâncime mică, în roci sedimentare lipsite total de coeziune sau cu coeziune mică. Concluzia la care s-a ajuns a fost că, pentru adâncimi mici, dacă roca îndeplinește anumite condiții de rezistență, lucrarea minieră nu trebuie să fie prevăzută

cu o susținere de rezistență. La adâncimi mari față de suprafață apar roci a căror rezistență la compresiune depășește valoarea de $1000 - 1500 \text{ daN/cm}^2$, caz în care se poate considera că aceste roci au o comportare elastică. În acest caz tensiunile tangențiale de compresiune la marginile orificiului circular ating valori de $(2-3) \sigma_z$. Este evident că forfecarea rocii va avea loc pentru cazul în care tensiunile tangențiale depășesc rezistența de rupere la compresiune a rocii, adică:

$$3\sigma_z > Q.$$

Pentru o rocă care are o rezistență de rupere la compresiune de 900 daN/cm^2 , rezistența rocii va fi depășită când $\sigma_z > 300 \text{ daN/cm}^2$.

Considerind o greutate specifică aparentă de $0,0017 \text{ daN/cm}^3$, tensiunea tangențială creată la marginea lucrării circulare va întrece rezistența rocii când lucrarea minieră

se va afla la o adâncime egală sau mai mare de: $H \geq \frac{\sigma_z}{\gamma a} = \frac{300}{0,0017} = 1764 \text{ m}.$

Pentru a putea determina mărimea presiunii, se consideră o lucrare minieră circulară amplasată la o adâncime de 1800 m în rocă masivă, cu următoarele caracteristici:

— rezistența de rupere la compresiune $Q = 700 \text{ daN/cm}^2$;

— unghiul de frecare interioară $\varphi = 55^\circ$; și $\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = j = 10$;

— celelalte date sînt identice cu cele din exemplul precedent.

În momentul ruperii, pentru cazul când roca este supusă la compresiune triaxială, se folosește relația:

$$\sigma_1 = Q + j\sigma_3.$$

În acest caz:

$$\sigma_z = 1800 \cdot 1,7 = 306 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_t = 3\sigma_z = 3 \cdot 306 = 918 \text{ daN/cm}^2.$$

La limita zonei elasto-elastice se poate scrie relația de echilibru:

$$\sigma_{rb} = \frac{\sigma_{te}}{2} (1 - \sin \varphi) = \frac{\sigma_{te}}{2} (1 - 0,82) = 0,09 \cdot \sigma_{te}.$$

Dar σ_{te} reprezintă numai o parte a tensiunii tangențiale, limită care întrece rezistența rocii:

$$\sigma_{te} = \sigma_t - Q = 918 - 700 = 218 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_{rb} = 0,09 \sigma_{te} = 0,09 \cdot 218 = 19,62 \text{ daN/cm}^2.$$

Aceasta arată că prin aplicarea pe conturul lucrării a unei reacțiuni de $19,62 \text{ daN/cm}^2$ poate fi prevenit fenomenul de forfecare a rocilor. Cu toate acestea nu se poate recurge la montarea unei susțineri care să reziste la $19,62 \text{ daN/cm}^2$, chiar dacă ea ar putea fi montată destul de repede pentru a preveni forfecarea. În consecință, dacă se va monta o susținere capabilă să reziste la o tensiune de $0,5 \text{ daN/cm}^2$, forfecarea se va extinde repede până la distanțe;

$$P_{iAv} = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1}$$

sau :

$$P_{iAv} = 19,62 \left(\frac{a}{b} \right)^9 = 0,5 \text{ daN/cm}^2; \text{ de aici } b = 1,5 a$$

Cu alte cuvinte, forfecarea se va extinde pînă la o distanță de $0,5 a$ de la margine, ceea ce echivalează cu circa 73 cm, distanță care este capabilă să reducă presiunea asupra susținerii la valori acceptabile. Această presiune, de $0,5 \text{ daN/cm}^2$, va fi exercitată în partea superioară a susținerii, datorită greutateii rocilor din zona clastică.

Valoarea presiunii în vârful bolții va fi :

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma a a}{j-2} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{j-2} \right] = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,0016 \cdot 150}{8} \left[1 - \left(\frac{1}{1,5} \right)^8 \right] \cong 0,046 \text{ daN/cm}^2$$

Presiunea verticală totală va fi :

$$P_b = 0,5 + 0,046 = 0,546 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, susținerea va avea rol de portantă, limitînd extinderea zonei de forfecare, fenomen ce poate fi ilustrat grafic (fig. XVI.79, a).

Presiunea asupra susținerii poate fi mult redusă, dacă se permite o relaxare mai accentuată a rocii, adică o extindere a zonei sfărîmate pe o distanță mai mare. Aceasta

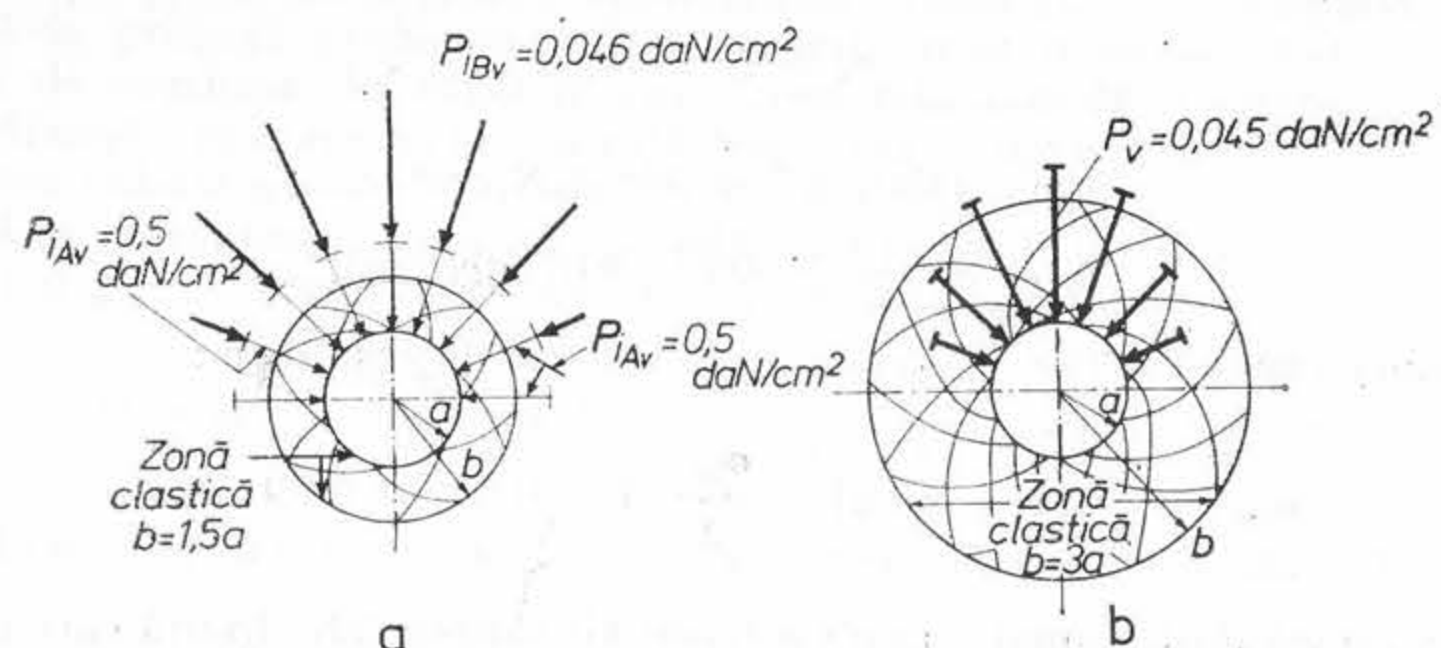


Fig. XVI.79. Mărimile presiunilor în jurul unei lucrări miniere circulare :

a — cînd $b = 1,5a$; b — cînd $b = 3a$.

presupune montarea unei susțineri care să lucreze la început elastic, iar după o perioadă de timp, rigid. Așa, de exemplu, pentru $b = 3a$ rezultă :

$$P_{iAv} = 19,62 \left(\frac{150}{450} \right)^9 = 0,0011 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,0016 \cdot 150}{8} \cdot 1 = 0,044 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, presiunea totală va fi :

$$P_v = 0,0011 + 0,044 = 0,0451 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în cazul cînd zona sfărîmată s-a extins de la $b = 1,5a$ la $b = 3a$ presiunea a scăzut de la $0,546 \text{ daN/cm}^2$ la $0,0451 \text{ daN/cm}^2$, fenomen ilustrat în fig. XVI.79, b.

În exemplul precedent a fost analizată posibilitatea extinderii zonei clasice, cu scopul de a reduce presiunea pe susținere.

Din același exemplu s-a constatat că formarea zonei sfărîmate nu poate fi total evitată. În concordanță cu același exemplu, s-ar părea că pentru obținerea unei presiuni minime asupra susținerii este necesar ca zona clastică să se extindă la maxim. Obținînd în acest caz o presiune minimă, se va putea monta o susținere cu o portantă scăzută și deci cu costuri reduse. Dar, în același timp, cantitatea de rocă excavată din lucrare — pentru a obține în final o lucrare minieră cu dimensiuni dinainte stabilite — va crește foarte mult, datorită afinării rocilor din zona clastică, avînd drept consecință creșterea costului de săpare a lucrării.

În consecință, pentru a avea o lucrare minieră cu dimensiuni dinainte stabilite, după ce rocile s-au stabilizat, excavarea inițială se va face la dimensiuni ceva mai mari decît dimensiunea finală. Corelația dintre costul de săpare și cel de susținere, în condițiile cele mai economice, poate fi determinată prin calcule.

Reducerea diametrului unei lucrări circulare în scopul micșorării presiunii pînă la valori admisibile se determină astfel (fig. XVI.80) :

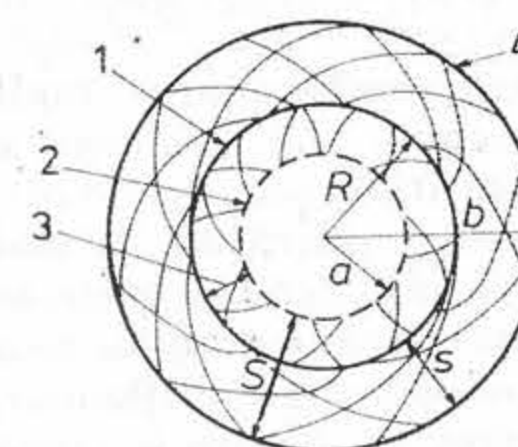


Fig. XVI.80. Micșorarea diametrului lucrării miniere circulare prin creșterea zonei sfărîmate :

1 — diametrul inițial al lucrării; 2 — diametrul final după stabilizare; 3 — reducerea secțiunii după stabilizare; 4 — zona elastică după stabilizare.

Pentru o lungime de 1 m pe direcție rezultă :

$$V_b = b^2;$$

$$V_s = (b^2 - R^2).$$

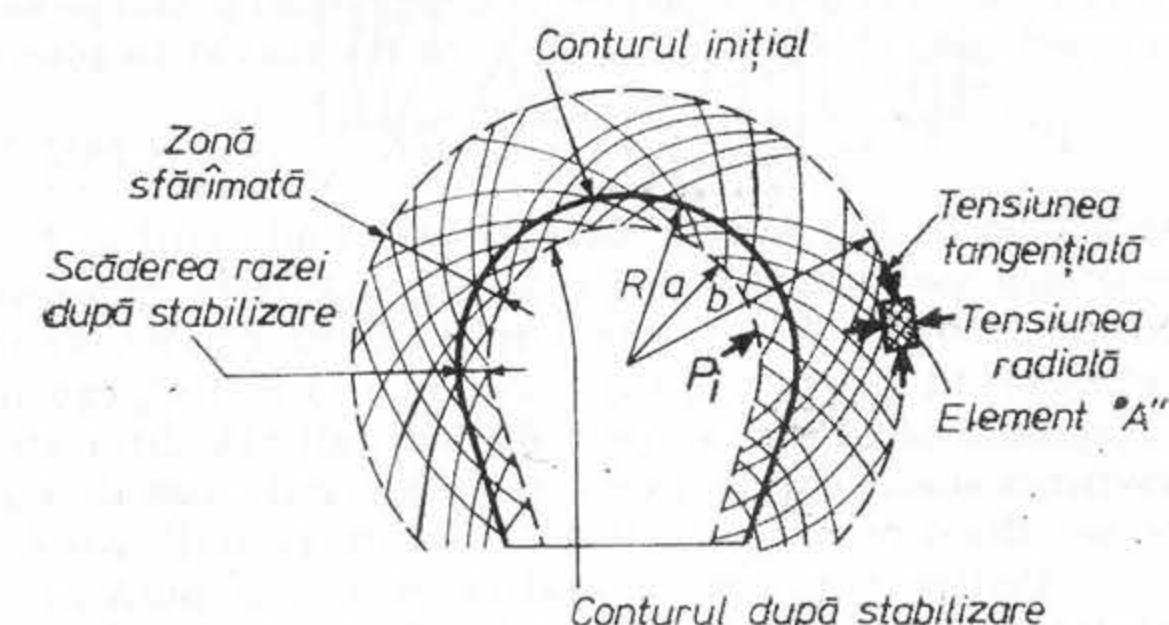


Fig. XVI.81. Formarea zonei de tensiuni reduse cînd lucrarea minieră este susținută cu o susținere elastică :

R — raza inițială; a — raza finală; b — raza zonei sfărîmate; p_i — secțiunea susținerii.

Prin sfărîmarea rocii din zona elastică (coroană circulară a), aceasta își va mări volumul :

$$V_s = (b^2 - R^2) K,$$

$$a^2 = V_a = V_b - V_s = b^2 - K(b^2 - R^2) = b^2 - K(b^2 - R^2)$$

$$a^2 = \frac{V_a}{\pi^2} = b^2 - K(b^2 - R^2)$$

Pentru un coeficient de afinare $K = 1,1$ și pentru datele problemei precedente, în care zona elastică a fost lăsată să se extindă pînă la distanță de $1,5 a$ de la centru, expansiune care a permis reducerea presiunii pînă la $0,5 \text{ daN/cm}^2$, raza inițială fiind de 150 cm , se pune problema determinării razei (a) după stabilizare, cît și a volumului de rocă care trebuie excavat în plus. În acest caz :

$$a^2 = b^2 - K(b^2 - R^2) = 2,25^2 - 1,1(2,25^2 - 1,50^2) = 2;$$

$$a = \sqrt{2} \approx 1,42;$$

$$R - a = 1,50 - 1,42 = 0,08 \text{ m} = 8 \text{ cm}.$$

Deci, după stabilizarea rocilor, diametrul a scăzut de la 3 m la $2,84 \text{ m}$, ceea ce nu va incomoda nici transportul de personal și nici pe cel de material prin lucrarea minieră. În acest caz, volumul de rocă ce va fi excavat în plus va fi de :

$$V' = V_s' - V_s = \pi(b^2 - R^2)((K - 1) = 3,14(2,25^2 - 1,5^2)(1,1 - 1) = 0,92 \text{ m}^3.$$

Dacă zona elastică ar fi lăsată să se extindă pînă la $b = 3 a$, pentru a reduce și mai mult presiunea pe susținere — presiunea calculată în exemplul precedent — s-ar produce o reducere a diametrului de la 3 m la $1,62 \text{ m}$, cu un volum de rocă excavată în plus de $5,8 \text{ m}^3$, reprezentînd circa 80% față de volumul inițial, caz în care lucrarea minieră nu ar mai corespunde cerințelor impuse de faza inițială. În conecință, soluția practică ar consta în montarea unei susțineri cu o portanță suficient de mare care să producă o stabilizare a rocilor, după ce zona elastică s-a extins pe o distanță pînă la $1,5 a$ de centrul orificiului.

Pentru a putea generaliza problema pusă în discuție, respectiv pentru a putea determina cu rapiditate dimensiunile de săpare ale unei lucrări miniere cînd aceasta este susținută cu o susținere elastică, astfel încît după stabilizare să se obțină dimensiunile dinainte stabilite, se consideră o lucrare minieră susținută cu o susținere elastică (fig. XVI. 81).

Dacă se consideră un element A , care se găsește în afara zonei sfărîmate, se poate scrie condiția de echilibru a acestui element, condiție care exprimă relația dintre diametrul lucrării, unghiul de frecare interioară a rocilor în care se sapă lucrarea și raza zonei sfărîmate. Pentru ușurință, această corelație este redată sub forma unei diagrame (fig. XVI. 82).

Pentru exemplificare, se presupune că lucrarea minieră este săpată la o adîncime de 440 m , într-o rocă care are unghiul de frecare interioară de 40° . La această adîncime se creează o presiune orizontală de $70,3 \text{ daN/cm}^2$, punctul 1. De la acest punct se duce o orizontală pînă se întâlnește dreapta care reprezintă unghiul de frecare interioară de 40° — punctul 2. De aici se duce o verticală pînă la intersecția acesteia cu curba R/A , obținîndu-se punctul 3. Din acest punct, pe orizontală se obține punctul 4, pentru care raportul $R/a = 1,15$. Deci raza lucrării miniere în săpare trebuie să fie de $1,15$ ori mai mare decît raza proiectată a lucrării, pentru a permite o corectă interacțiune între rocă și susținerea

Fig. XVI.82. Corelația din-
tre diametrul lucrării, un-
ghiul de frecare interioară
și raza zonei sfărîmate.

elastică. Astfel, dacă raza finală a lucrării trebuie să fie de 150 cm , adică să aibă un diametru de 300 cm , diametrul inițial în săpare trebuie să fie de $300 \cdot 1,15 = 345 \text{ cm}$, caz în care se va realiza un echilibru perfect între rocă și susținerea elastică. Graficul din fig. XVI.82 a fost întocmit în ipoteza că susținerea elastică va opune o reacțiune de $1,4 \text{ daN/cm}^2$. Dacă din punctul 3 se continuă verticala în jos, se va obține raportul dintre raza zonei elastice și raza lucrării miniere.

Lucrare minieră săpată la adîncime mică, în

argile. Se consideră că o lucrare minieră circulară — tunel — a fost săpată într-un șist argilos cu $\sigma_a = 0,00176 \text{ daN/cm}^3$; $c = 0,68 \text{ daN/cm}^2$ și $\phi = 20^\circ$. Adîncimea față de suprafață a fost de $H = 36,6 \text{ m}$, iar raza lucrării $a = 5,5 \text{ m}$.

Pentru $\phi = 20^\circ$; $j = 2$; $j - 2 = 0$ se obține :

$$P_i = a \cdot \gamma_a \cdot 2,3 \log \frac{H}{a} - T \left[1 - \left(\frac{a}{H} \right)^{j-1} \right] \approx 0,23 \text{ daN/cm}^2.$$

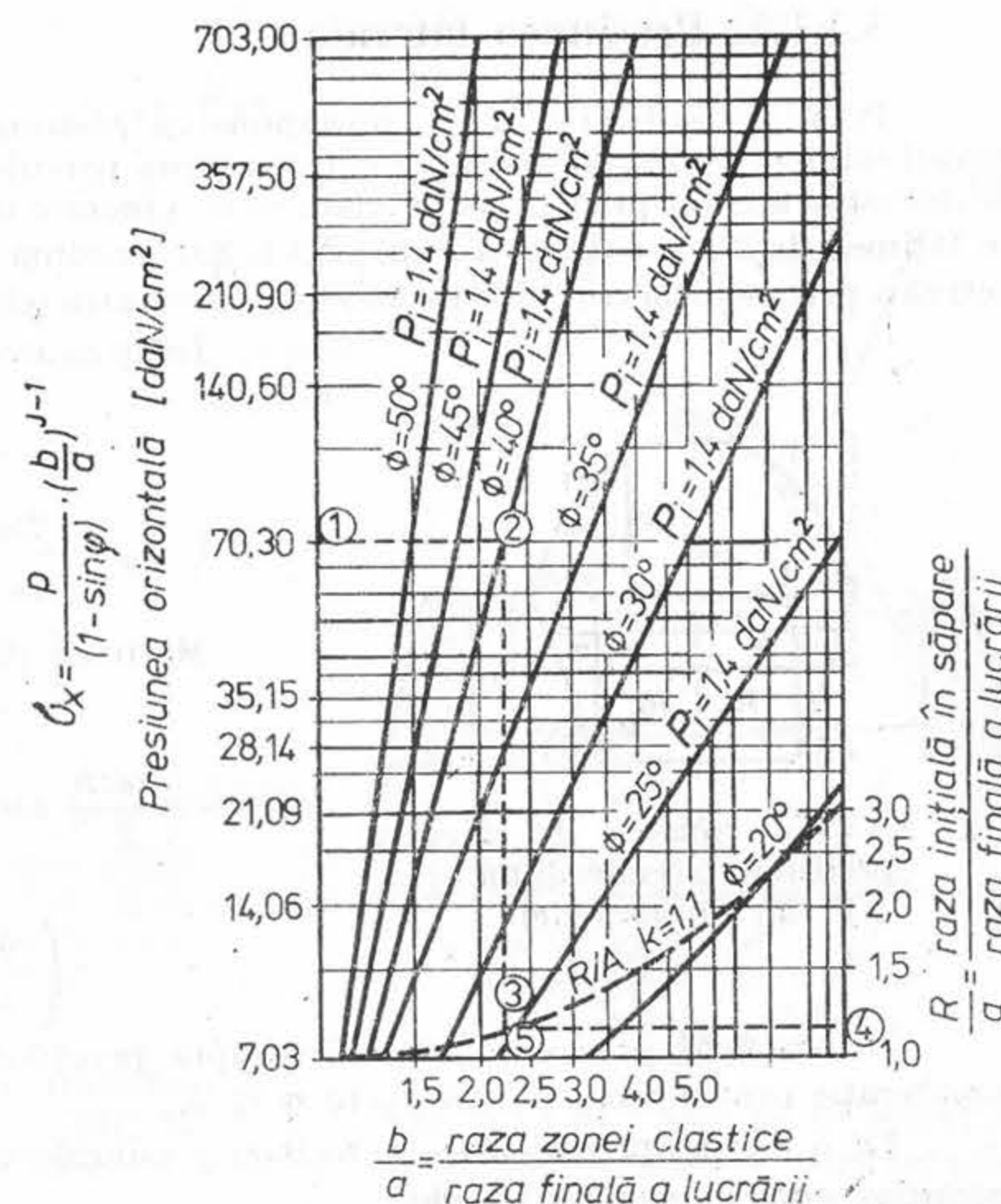
Pentru cazul cînd lucrarea minieră este săpată în argile saturate, caz pentru care $\phi = 0$, și considerînd celelalte date avînd valorile :

$$\gamma_a = 0,0019 \text{ daN/cm}^3; c = 0,1 \text{ daN/cm}^2; H = 2000 \text{ cm}; a = 200 \text{ cm};$$

$$\text{se obține : } p_i = a \cdot \gamma_a \left[\frac{H}{a} - 1 \right] - 4,6 c \lg \frac{H}{a} \approx 3 \text{ daN/cm}^2.$$

Exactitatea rezultatelor obținute depinde de exactitatea determinării parametrilor de stare fizică și mecanică.

Din rezultatele obținute se constată că presiunea asupra susținerii — la tavan — reprezintă circa 80% din valoarea presiunii maxime, presiune care în timp poate atinge chiar valoarea maximă ($\gamma_a \cdot H$).



3.3.1.2. Presiunea laterală

P. M. Țimbarevici presupune că presiunea laterală asupra pereților unei lucrări miniere este suma presiunii active asupra pereților, a prismelor m și a încărcăturii de deasupra acestor prisme. Astfel, dacă se ia o lucrare minieră de formă dreptunghiulară cu lățimea de $2a$ și înălțimea h (fig. XVI. 83), presiunea laterală este dată de presiunea activă a prismelor m care sînt încărcate cu greutatea elementelor parabolice n , rezultînd:

Înălțimea de încărcare a prismelor laterale h_0 :

$$h_0 = \frac{\gamma a_1}{\gamma a} \cdot \frac{a + h \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \varphi}{2}}{\operatorname{tg} \varphi_1} \quad (3.58)$$

Mărimea presiunii laterale:

$$R_b = \frac{\gamma a \cdot h}{2} \cdot \frac{2\gamma a_1}{\gamma a} \cdot \frac{a + h \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \varphi}{2}}{\operatorname{tg} \varphi_1} + h \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - \varphi}{2} \quad (3.59)$$

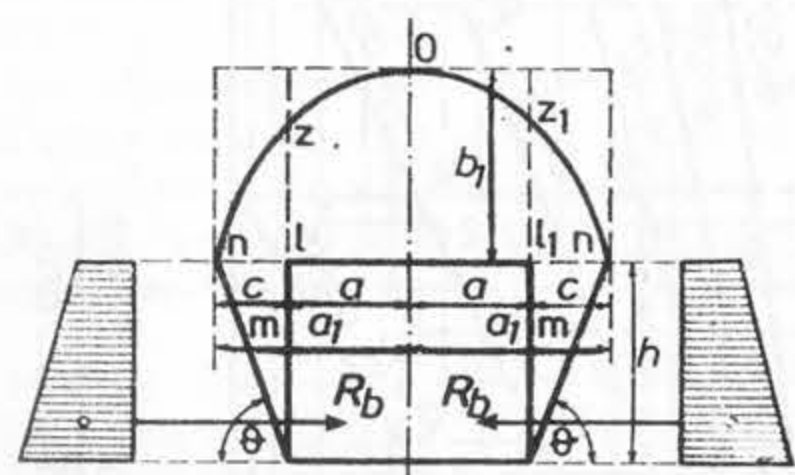


Fig. XVI.83. Schema de calcul a presiunii laterale (după P. M. Țimbarevici)

În practică, presiunile laterale asupra pereților lucrărilor subterane se iau în considerație pentru rocile la care $f = \operatorname{tg} \varphi \leq 2$.

La o rezistență mai mare a rocilor, presiunile laterale care iau naștere în jurul lucrărilor miniere sînt neglijabile.

Astfel, pentru o lucrare minieră care are lățimea $2a = 4,5$ m, și înălțimea $h = 3$ m, avînd în tavan roci cu $\gamma a_1 = 2500$ daN/cm³ și $\varphi_1 = 72^\circ$ și în pereți roci cu $\gamma a = 2300$ daN/cm³ și $\varphi = 64^\circ$, presiunea laterală va fi:

$$h_0 = \frac{2,5}{2,3} \cdot \frac{2,25 + 3,0 \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + 64^\circ}{2}}{\operatorname{tg} 72^\circ} \approx 1,4 \text{ m};$$

$$R_b = \frac{2300 \cdot 3,0}{2} (2 \cdot 1,4 + 3,0) \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - 64^\circ}{2} \approx 1050 \text{ daN/m} = 350 \text{ daN/m}^2$$

3.3.1.3. Presiunea din vatră

P. M. Țimbarevici, acceptînd o schemă de manifestare a presiunii ca în fig. XVI. 84, stabilește:

— adîncimea pînă la care se manifestă fenomenul de mișcare a rocilor:

$$x_0 = \frac{H_1 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)} \quad (3.60)$$

— diferența dintre presiunea activă și pasivă:

$$D_0 = R_0 - Q_0 = \frac{1}{2} \gamma a \left[(x_0^2 + 2x_0 H_1) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - x_0^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right]$$

Valoarea presiunii din vatră (N) este dată de relația:

$$N = D \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

Astfel, pentru o lucrare cu înălțimea $H = 2,5$ m și cu lățimea $2a = 3,5$ m, săpată într-o argilă umedă cu $\varphi = 25^\circ$ și $\gamma a = 2000$ daN/m³, se poate determina:

— înălțimea bolții parabolice:

$$b = \frac{1,75 + 2,50 \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + 25^\circ}{2}}{\operatorname{tg} 25^\circ} \approx 7,2 \text{ m};$$

$$H_1 = H + b = 2,5 + 7,2 = 9,7 \text{ m}$$

— adîncimea pînă la care se manifestă fenomenul de mișcare a rocilor este:

$$x_0 = \frac{9,7 \operatorname{tg}^4 \frac{90^\circ - 25^\circ}{2}}{1 - \operatorname{tg}^4 \frac{90^\circ - 25^\circ}{2}} \approx 1,9 \text{ m}$$

$$D_0 = \frac{1}{2} \cdot 2 (1,9^2 + 2 \cdot 1,9 \cdot 9,7) \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - 25^\circ}{2} - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1,9^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ + 25^\circ}{2} = 7700 \text{ daN/m}.$$

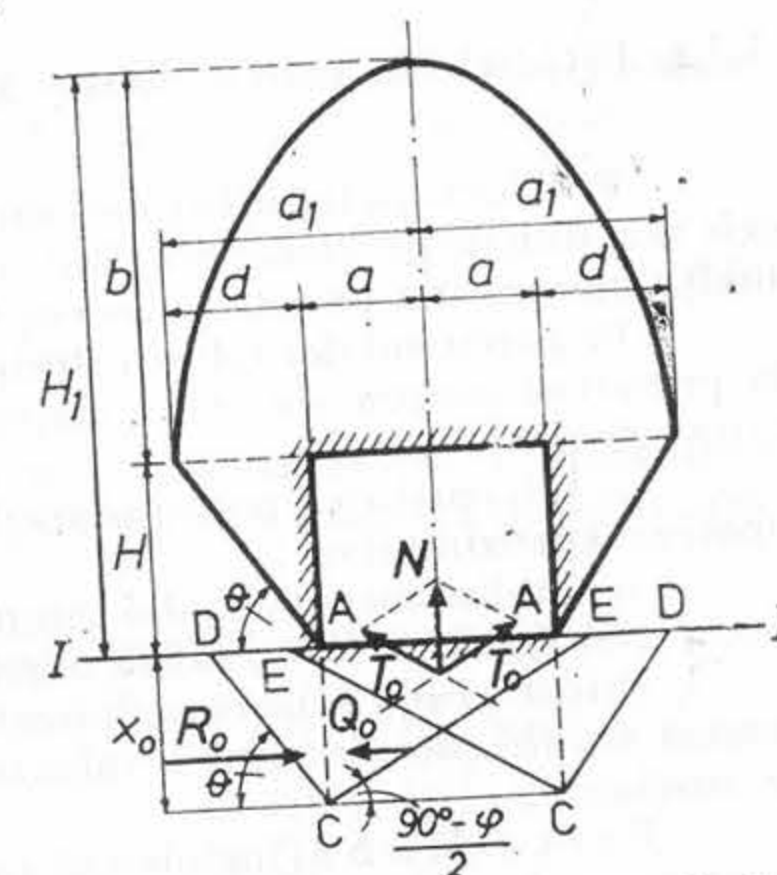


Fig. XVI.84. Schema de calcul a presiunii din vatră la o lucrare minieră cu profil dreptunghiular fără susținere (după P. M. Țimbarevici).

Presiunea din vatra va fi:

$$N = 7700 \operatorname{tg}^2 \frac{(90^\circ - 28^\circ)}{2} = 1400 \text{ daN/m}^2.$$

Fenomenul presiunilor din vatră se manifestă în special la rocile argiloase cu proprietăți de umflare.

3.3.2. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA LUCRĂRILOR MINIERE VERTICALE

Problema determinării presiunii asupra susținerii puțurilor verticale este una dintre cele mai dificile probleme din domeniul minier și care nu a găsit încă o soluționare complet mulțumitoare din punct de vedere teoretic.

Pe parcursul dezvoltării științei miniere, au fost create o serie de ipoteze referitoare la presiunea asupra susținerii puțurilor, ipoteze care pot fi împărțite arbitrar în două grupe distincte:

— interpretarea presiunii rocilor și a naturii ei cu ajutorul unor scheme simplificate (ipoteze aproximative):

— studiul mecanismului interacțiunii dintre rocă și susținere, cunoașterea tensiunilor în rocă și susținere și analiza mișcării rocilor din jurul puțului.

Prima grupă este caracterizată prin aceea că ea consideră presiunea rocilor ca o sarcină statică, de o anumită valoare, pentru preluarea căreia trebuie ales un anumit tip de susținere.

Fritz Mohr înglobează toate ipotezele referitoare la această etapă sub denumirea generală de *ipoteza forțelor*, din cadrul căreia cele mai adecvate pentru lucrările miniere verticale sînt ipotezele care admit lipsa presiunilor în cazul rocilor rezistente, dintre care:

- ipoteza restabilirii tensiunii naturale a masivului de roci;
- ipoteza bolții.

A doua grupă este caracterizată prin *ipoteza deformațiilor*, potrivit căreia presiunea asupra susținerii se dezvoltă și se restabilește în urma unei interacțiuni complexe, care are loc între susținere și rocă. Susținerea în acest sistem ocupă o poziție de echilibrare cu masivul de roci și influențează asupra manifestării presiunilor.

3.3.2.1. Ipoteza forțelor

Ipoteza restabilirii stării de tensiune în jurul puțului. Potrivit acestei grupe de ipoteze, presiunea asupra susținerii puțului corespunde tensiunilor împingerii laterale a masivului de rocă și se exprimă cu relația:

$$P = \lambda \cdot \gamma_a \cdot H$$

în care

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.61)$$

Particularitatea acestei ipoteze o constituie recunoașterea dependenței liniare a presiunii rocilor în funcție de adîncime. Întrucît mărimea coeficientului de împingere late-

în masivul de roci nu se cunoaște, sînt emise diferite păreri. În mod corespunzător sînt emise o serie de considerente și asupra valorii presiunii rocilor asupra susținerii puțului.

Astfel, pornind de la teoria lui Kulon, Protodîkonov consideră că în jurul puțului se formează prisme care se deplasează pe plane de alunecare spre susținerea puțului și care dezvoltă o presiune dată de relația:

$$P = \gamma_a \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (3.62)$$

Dacă puțul străbate strate cu grosimi diferite: h_1, h_2, \dots, h_n , avînd coeficienți de tărie diferiți: f_1, f_2, \dots, f_n , valoarea medie a coeficientului de tărie se va calcula cu relația

$$f_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i f_i}{H} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} f_{med}. \quad (3.63)$$

Dacă se consideră un puț vertical cu adîncimea de 150 m, săpat într-o formațiune de roci omogene cu $f = \operatorname{tg} \varphi = 4$ și $\gamma_a = 3000 \text{ daN/m}^3$, presiunea pe unitatea de suprafață a peretelui puțului este:

$$P = \gamma_a \cdot H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) =$$

$$= 2000 \cdot 150 \cdot 0,123^2 = 4500 \text{ daN/m}^2.$$

P. M. Timbărevici admite posibilitatea unei analogii directe dintre tensiunile existente în roci și presiunea manifestată asupra susținerii, considerînd că *susținerea rigidă restabilește starea inițială de tensiune a rocilor*. Conform acestei ipoteze se consideră că în fiecare strat se formează prisme de alunecare (fig. XVI. 85), care suportă la rîndul lor greutatea coloanei de roci acoperitoare. Formula generală de calcul propusă de Timbărevici este:

$$P = \sum_{i=1}^n \gamma_{ai} \cdot h_i \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\beta}{2} \right). \quad (3.64)$$

$$i = 1, 2, 4 \dots, n.$$

în care β reprezintă unghiul de rezistență interioară a rocilor.

Deoarece, în general, rocile în care se sapă puțul au proprietăți fizice și mecanice diferite, autorul recomandă pentru calculul presiunii pe unitatea de suprafață a peretelui relația:

$$P = \gamma_{an} \left[\frac{\gamma_{a1}}{\gamma_{an}} h_1 + \frac{\gamma_{a2}}{\gamma_{an}} h_2 + \dots + \frac{\gamma_{an+1}}{\gamma_{an}} h_{n-1} + h_n \right] \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\beta}{2} \right) \quad (3.65)$$

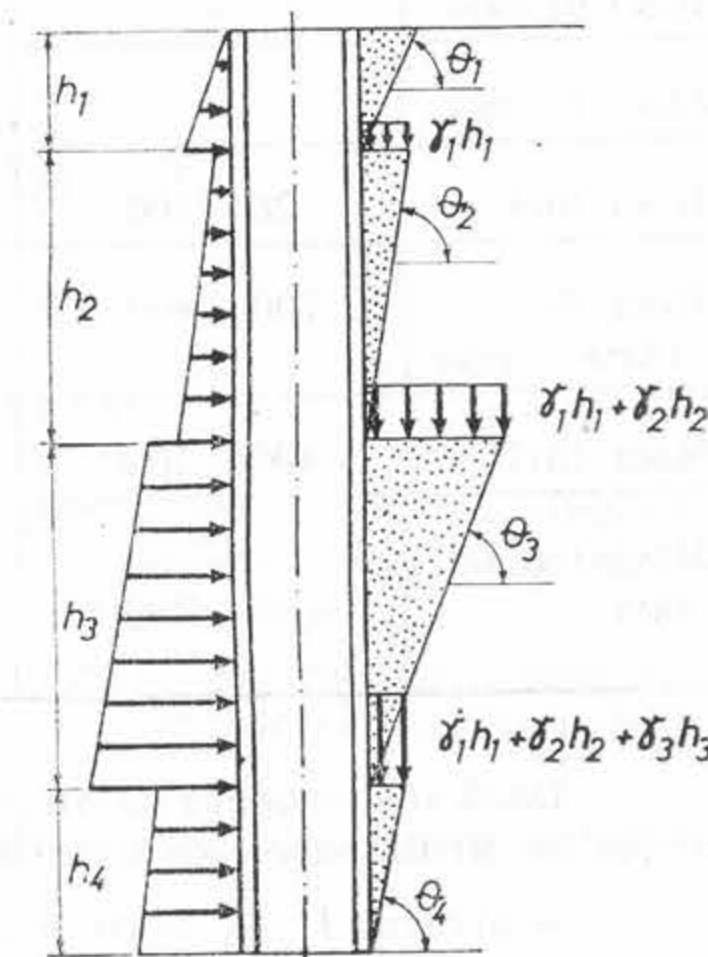


Fig. XVI.85. Schema de calcul a presiunii asupra unei lucrări miniere verticale (după P. M. Timbărevici).

Pentru ușurarea calculelor referitoare la mărimea presiunii, în tabelul XVI. 28 se dau valorile coeficientului împingerii laterale.

Tabelul XVI.28

Valorile coeficientului împingerii laterale $\text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$ în funcție de unghiul de frecare interioară.

Natura rocilor	Caracteristicile rocilor			Coeficientul împingerii laterale $\text{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$	
	Rezistența la compresiune [daN/cm ²] σ_c	Volumul porilor [%]	Unghiul de frecare interioară, φ°	Valori limită	Media
Roci acvifere	—	—	0—18°	1,0—0,64	0,76
Roci mobile	—	—	18—26°34'	0,64—0,5	0,53
Roci f. moi	—	—	26°34'—50°	0,6—0,29	0,39
Roci moi	20—100	40—10	—	0,297—0,031	0,164
Roci de tărie medie	100—400	10—3	—	0,031—0,008	0,017
Roci tari	400—1600	3—0,5	—	0,008—0,002	0,004
Roci foarte tari	1600—2000	0,5—0	—	0,002—0,0007	0,0012

Dacă se consideră că un puț vertical traversează un pachet de strate care de sus în jos au următoarele caracteristici:

- stratul I $h_1 = 20$ m... $\gamma_{a1} = 2000$ daN/m³
- stratul II $h_2 = 10$ m... $\gamma_{a2} = 1600$ daN/m³
- stratul III $h_3 = 10$ m... $\gamma_{a3} = 2000$ daN/m³
- stratul IV $h_4 = 160$ m... $\gamma_{a4} = 2400$ daN/m³,

presiunea pe diferitele tronsoane este:

stratul IV, partea de jos:

$$p'_4 = 2,4 \left(160 + \frac{2,0}{2,4} \cdot 10 + \frac{1,6}{2,4} \cdot 10 + \frac{2,0}{2,4} \cdot 20 \right) \cdot 0,017 = 7,800 \text{ daN/m}^2.$$

partea de sus:

$$p''_4 = 2,4 \left(\frac{2,0}{2,4} \cdot 10 + \frac{1,6}{2,4} \cdot 10 + \frac{2,0}{2,4} \cdot 20 \right) \cdot 0,017 = 1,290 \text{ daN/m}^2$$

stratul III, partea de jos:

$$p'_3 = 2,0 \left(10 + \frac{1,6}{2,0} \cdot 10 + \frac{2,0}{2,0} \cdot 20 \right) \cdot 0,387 = 29,400 \text{ daN/m}^2$$

partea de sus:

$$p''_3 = 2,0 \left(\frac{1,6}{2,0} \cdot 10 + \frac{2,0}{2,0} \cdot 20 \right) \cdot 0,387 = 21,670 \text{ daN/m}^2$$

stratul II, partea de jos:

$$p'_2 = 1,6 \left(10 + \frac{2,0}{1,6} \cdot 20 \right) \cdot 0,757 = 42,000 \text{ daN/m}^2;$$

partea de sus:

$$p''_2 = 1,6 \cdot \frac{2,0}{1,6} \cdot 20 \cdot 0,757 = 30,000 \text{ daN/m}^2;$$

stratul I, partea de jos:

$$p'_1 = 2,0 \cdot 20 \cdot 0,387 = 15,480 \text{ daN/m}^2.$$

Conform acestor rezultate, poate fi construită epura presiunilor, de unde se observă că stratul II, deși se află mai aproape de suprafață, dezvoltă o presiune cu mult mai mare asupra susținerii decât stratul IV, care se găsește la adâncime mai mare.

K. V. Pavlov a propus o formulă de calcul bazată pe unele experiențe, care au arătat că valoarea presiunii litostatice asupra puțurilor variază în funcție de diametrul

acestuia, direct proporțional cu expresia $\frac{\sqrt[3]{D+1}}{2}$. Presiunea asupra pereților puțului după acest autor este dată de relația:

$$P = \gamma_{an}(h_n + h_0)^3 \cdot \frac{\sqrt[3]{D+1}}{2} \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi^\circ}{2} \right), \quad (3.66)$$

în care: D reprezintă diametrul puțului sau latura cea mai mare a acestuia. Astfel, pentru un puț cu adâncimea de 200 m și diametrul de 6 m, săpat într-o rocă omogenă cu $\varphi = 68^\circ 40'$ și $\gamma_a = 2750$ daN/m³, presiunea va fi:

$$P = \frac{1}{2} \cdot 2,75 \cdot 200 \sqrt[3]{6+1} \cdot \text{tg}^2 \cdot 10^\circ 40' = 18\,380 \text{ daN/m}^2.$$

3.3.2.2. Ipoteza deformațiilor

Înainte de tratarea anumitor procedee de calcul care aparțin acestei grupe, este necesar să se arate care este mecanismul interacțiunii dintre rocă și susținere, având în vedere că acest grup de ipoteze iau în considerare reacțiunea susținerii.

Mecanismul interacțiunii susținerii cu masivul de roci se poate prezenta grafic cu ajutorul diagramei din fig. XVI. 86, unde curba 1 caracterizează presiunea radială la suprafața lucrării, în funcție de valoarea deplasării rocilor (U_a). Curba 1 se întretaie cu axa p în punctul de ordonată $\lambda_a \gamma_a h$, care corespunde tensiunilor în masivul monolit de roci.

După realizarea excavației, pînă la montarea susținerii, conturul puțului suferă o oarecare deplasare radială U_0 , după care are loc montarea susținerii cu caracteristica 2. Mărimea deplasărilor U_s caracterizează comportarea simultană a susținerii și a masivului, atunci cînd susținerea se opune acțiunii presiunii rocilor. Punctul A corespunde stării echilibrului static și a presiunii stabilizate. Susținerea cu caracteristica 3 va suporta o presiune mai redusă, ceea ce denotă că presiunea depinde în măsură hotărîtoare de rigiditatea susținerii.

Astfel, elementele deplasării sînt legate între ele prin relația:

$$U_t = U_0 + U_s, \quad (3.67)$$

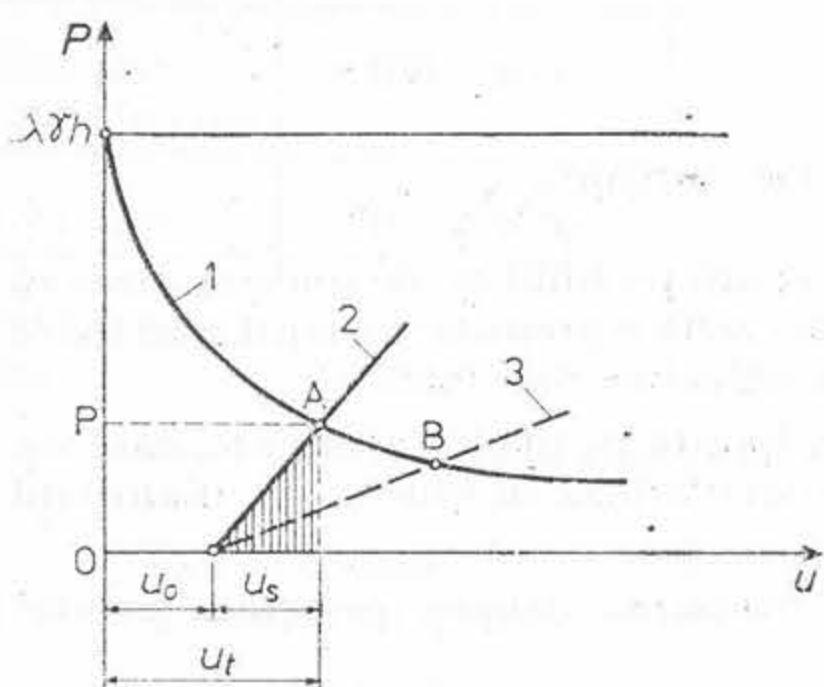


Fig. XVI.86. Mecanismul interacțiunii dintre rocă și susținere.

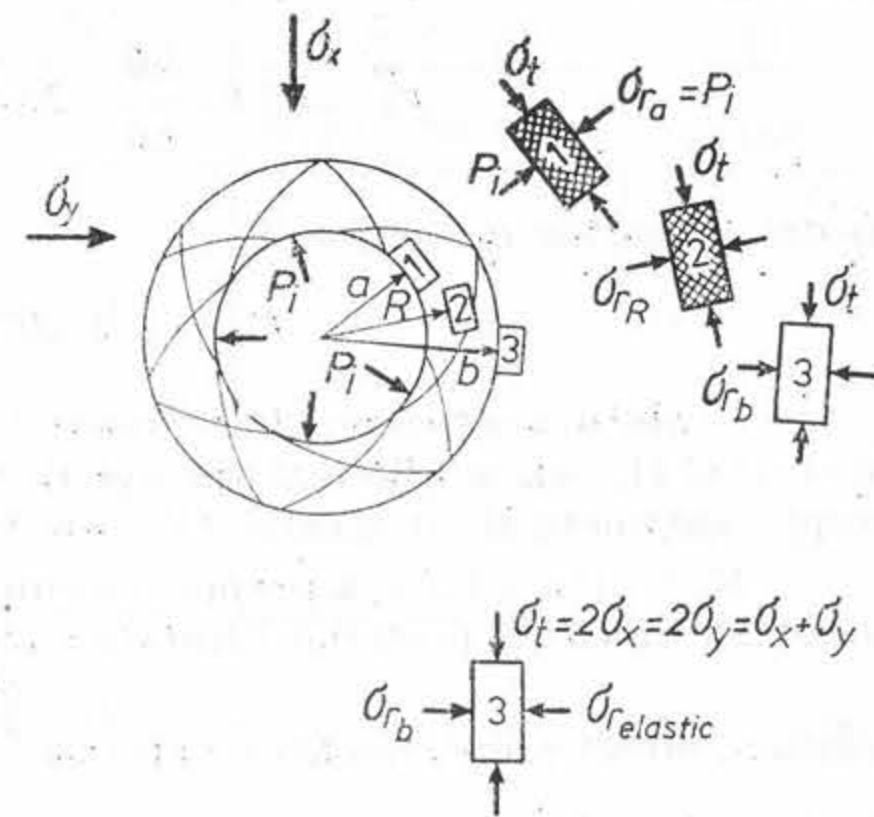


Fig. XVI.87. Starea de echilibru a unei particule din jurul unei lucrări miniere verticale în ipoteza lui Labasse.

Plecînd de la aceste considerente, Fenner analizează echilibrul unui element care se află în interiorul zonei de tensiuni reduse și pe conturul exterior al acesteia (fig. XVI. 87.)

Punînd condiția $\sigma_1 = Q + j\sigma_3$, stabilește relația presiunii sub forma:

$$p_i = \sigma_x(1 - \sin\varphi) \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1} \quad (3.68)$$

Analizînd raționamentul prezentat de Fenner, Labasse a dat o interpretare deosebită valorii presiunii. Autorul a remarcat că presiunea asupra susținerii are valoarea cea mai mare la începutul formării zonei de fisurare sau curgere, cînd ($b=a$), adică:

$$P_{max} = \sigma_x(1 - \sin\varphi), \quad (3.69)$$

După Labasse, puțul este înconjurat de trei zone:

- zona de tensiuni reduse;
- zona tensiunilor mărite, care delimitează zona de curgere sau sfărîmare;
- zona elastică, în care tensiunile, pe măsura îndepărtării de pe conturul puțului, se apropie de tensiunile din masiv.

Labasse a dezvoltat ipoteza sfărîmării, rezolvînd distribuția tensiunilor din jurul puțului pentru condițiile cînd roca din zona sfărîmată mai dispune și de o oarecare coeziune, stabilind relația:

$$p = (\sigma_x + c \operatorname{ctg}\varphi)(1 - \sin\varphi) \left(\frac{a}{b} \right)^{i-1} - c \operatorname{ctg}\varphi \quad (3.70)$$

K. V. Rupeneit a întocmit un studiu analog problemei interacțiunii rocilor cu susținerea puțului cu ajutorul funcțiilor tensiunilor

Acesta dezvoltă ipoteza sfărîmării, determinînd deplasarea rocilor de pe conturul puțului, în funcție de raza zonei deformațiilor neelastice care se găsesc în condiția deplasărilor continue, la limita dintre domeniul deformațiilor neelastice și elastice, ajungînd la expresia:

$$p = (1 - \sin\varphi)(q + c \operatorname{ctg}\varphi) \frac{1 - \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} \left(\frac{a \sin\varphi}{U_a \cdot 2G} \right)^{\frac{\sin\varphi}{1 - \sin\varphi}} - c \operatorname{ctg}\varphi \quad (3.71)$$

Această expresie este analogă cu formula lui Labasse, cu deosebirea că presiunea este dată în funcție de deplasarea peretilor (U_a) și nu în funcție de raza zonei de sfărîmare.

Pentru exemplificare, se prezintă în continuare cîteva cazuri mai deosebite care pot fi rezolvate după ipoteza lui Fenner-Labasse.

Puț vertical săpat la adîncime mică în roci elastice. Dacă se consideră că un puț vertical circular cu raza de $a=150$ cm este săpat pînă la adîncimea $H=3000$ cm, în roci lipsite de coeziune, cu $\gamma_a=0,0016$ daN/cm³ și $\varphi=37^\circ$, se poate determina:

$$j = 4; j - 1 = 3; i = \frac{1}{4};$$

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = 0,0016 \cdot 3000 = 4,8 \text{ daN/cm}^2.$$

Se presupune că starea de tensiune este uniform repartizată pe circumferința puțului și deci $\sigma_x = \sigma_y$:

$$\sigma_x = \sigma_y = i\sigma_z = \frac{1}{4} \cdot 4,8 = 1,2 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, tensiunea tangențială va fi:

$$\sigma_t = 2\sigma_x = 2\sigma_y = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ daN/cm}^2.$$

Mărimea tensiunii radiale, conform ipotezei lui Fenner-Labasse, va fi:

$$\sigma_{rb} = \sigma_t \left(\frac{1}{2} \right) (1 - \sin \varphi) = 2,4 \cdot 0,2 = 0,48 \text{ daN/cm}^2.$$

Presupunind că susținerea cedează suficient pentru a permite zonei sfărimate să se extindă pînă la distanța $b = 1,5 a$ de la centrul puțului, presiunea va fi:

$$p_i = \sigma_{rb} \left(\frac{a}{b} \right)^{j-1} = 0,48 \left(\frac{150}{225} \right)^3 = 0,48 \cdot 0,3 = 0,144 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă susținerea cedează mai mult, permițînd înaintarea zonei sfărimate pînă la distanța $b = 2a$, presiunea va fi:

$$p_i = 0,48 \left(\frac{1}{2} \right)^3 = 0,06 \text{ daN/cm}^2.$$

Din calculele efectuate, se constată că presiunea asupra susținerii este cu atît mai mică cu cît raza zonei sfărimate este mai mare, fapt ilustrat în fig. XVI. 88.

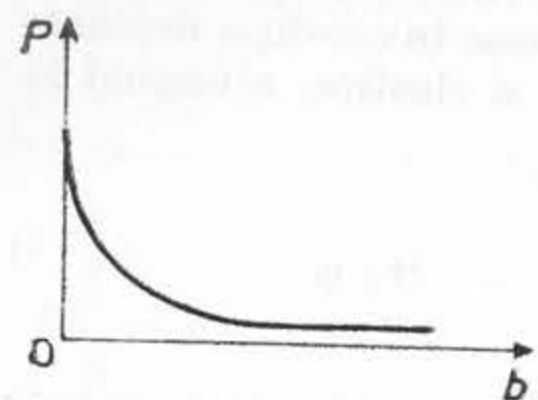


Fig. XVI.88. Variația presiunii în funcție de mărimea fazei sfărimate.

În acest caz, susținerea trebuie să cedeze suficient pentru a permite formarea acestei zone. În condițiile din practică, creșterea razei zonei sfărimate este însoțită de creșterea volumului de rocă care trebuie excavată în plus la săparea puțului. Deci, echilibrul între portanța susținerii și mișcarea rocilor înconjurătoare se stabilește, ca și în cazul lucrărilor miniere orizontale, prin calcule economice.

Puț vertical săpat în rocă coezivă, roca din zona sfărîmată fiind lipsită de coeziune. Dacă se presupune că puțul se sapă într-o rocă coezivă cu $c = 0,244 \text{ daN/cm}^2$, coeziune pe care o poate avea o argilă nisipoasă — celelalte condiții rămîinînd identice ca și pentru cazul precedent — datorită tensiunilor tangențiale care depășesc rezistența de rupere la

compresiune a rocii, se produce forfecarea (sfărîmarea), care se extinde pe o distanță oarecare, pînă unde tensiunile radiale sînt suficient de mari pentru a opri procesul de forfecare. Datorită procesului de forfecare, se consideră că în interiorul zonei sfărîmate rocile sînt lipsite total de coeziune.

Rezistența inițială la compresiune a rocilor în care se sapă puțul se determină din relația:

$$Q = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} = 2 \cdot 0,244 \cdot 2 = 0,976 \text{ daN/cm}^2.$$

Ca și în cazul precedent:

$\sigma_t = 2\sigma_x = 2\sigma_y = 2,4 \text{ daN/cm}^2$, tensiuni care întrec cu mult rezistența la compresiune a rocii.

$$\sigma_{rb} = (\sigma_t - Q) \frac{1}{2} (1 - \sin \varphi) = (2,4 - 0,976) \frac{1}{5} = 0,3 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă forfecarea înaintază progresiv pînă la $b = 1,5 a$,

$$p_i = 0,3 \left(\frac{1}{1,5} \right)^3 = 0,087 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru ca roca să se autosustină ($p_i = 0$) este necesar ca aceasta să posedă o rezistență de rupere la compresiune de:

$$Q > \sigma_t = 2,4 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, roca ar trebui să posedă o coeziune:

$$c = \frac{Q}{2} \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{2,4}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0,6 \text{ daN/cm}^2$$

Puț vertical săpat în rocă coezivă, roca din zona sfărîmată posedînd o oarecare coeziune. Dacă se presupune că puțul vertical este săpat într-o rocă coezivă, cum ar fi o argilă nisipoasă, iar în interiorul zonei de forfecare — datorită fragmentelor de argilă — roca sfărîmată mai posedă o coeziune de $c = 0,0488 \text{ daN/cm}^2$, se va putea determina, plecînd de la ecuația lui Labasse:

$$p_i = (\sigma_{rb} + c \operatorname{ctg} \varphi) \left(\frac{a}{b} \right)^{i-1} - c \operatorname{ctg} \varphi \quad (3.72)$$

$$T = c \operatorname{ctg} \varphi = \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{0,0488}{0,75} = 0,065 \text{ daN/cm}^2.$$

înlocuind:

$$p_i = (0,3 + 0,065) \left(\frac{1}{1,5} \right)^3 - 0,065 = 0,0445 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în cazul cînd roca din zona sfărîmată mai posedă o oarecare coeziune, presiunea asupra susținerii este cu mult mai mică ($p_i = 0,0445 \text{ daN/cm}^2$) decît în cazul cînd roca din interiorul zonei sfărîmate nu mai posedă nici un fel de coeziune ($p_i = 0,087 \text{ daN/cm}^2$).

Pentru condițiile Văii Jiului, luînd în considerare patru categorii de roci caracteristice și pentru adîncimi pînă la 1000 m, presiunea, după mai mulți autori, are valorile din tabelul XVI.29.

3.3.2.3. Presiunea neuniformă asupra lucrărilor miniere verticale

Ipotezele tratate pînă în prezent au considerat presiunea ca fiind uniform distribuită în jurul lucrărilor miniere verticale.

Dacă se iau în considerare observațiile și măsurătorile practice realizate, atît în țara noastră cît și în străinătate, se ajunge la concluzia că, în majoritatea cazurilor, aceste

Tabelul XVI.20

Valorile presiunilor pentru condițiile Văii Jiului

Autorul	Formula autorului	Adâncimea la care se calcu- lează pre- siunea [m]	Argilă grișoasă	Argilă grezoasă	Marnă bitumi- noasă	Gresie dură
M. M. Protodiako- nov	$P = \gamma H \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$	500 700 1000	15,3 21,4 30,6	16,1 23,6 32,2	13 18,2 26	11,7 16,4 23,4
P. M. Țimbarevici	$P = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\beta}{2} \right)$	500 700 1000	15,3 21,4 30,6	16,1 22,6 32,2	13 18,2 26	11,7 16,4 23,3
K. V. Pavlov	$P = \gamma n (h_n + h_0) \frac{\sqrt[3]{D+1}}{2} \cdot A$	500 700 1000	14,6 20,4 29,2	15,35 21,6 30,7	12,4 17,4 24,8	11,2 15,7 22,4
A. N. Dimik	$P = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H$	500 700 1000	11,3 15,7 22,6	8,4 11,75 17,2	6,36 8,9 12,72	4,45 6,25 8,9
Fenner-Labasse	$P = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H (1 - \sin \varphi) \left(\frac{a}{b} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}$	500 700 1000	11,3 15,7 22,6	8,4 11,75 17,2	6,36 8,9 12,72	4,45 6,25 8,9
Fr. Mohr	$P = \frac{0,1 \gamma H}{2(K-1)} [K + (K-2) \cos 2\varphi]$	500 700 1000	12,5 18,2 25	12,5 18,2 25	12,8 18 25,6	13 18,2 26

lucrări sînt supuse la presiuni neuniforme, neuniformitate caracterizată prin coeficientul de variație a presiunii determinat prin relația:

$$V = \frac{1}{P_m} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - P)^2}{n-1}} \quad (3.73)$$

în care: p_m reprezintă presiunea medie:

p_i — valoarea presiunii într-un punct din secțiunea transversală a puțului;
 n — numărul de puncte în care este măsurată mărimea presiunii.

Mărimea coeficientului de variație a presiunii depinde de o serie de factori, printre care: adâncimea, caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor, felul și tehnologia de montare a susținerii, unghiul de înclinare a stratelor traversate etc.

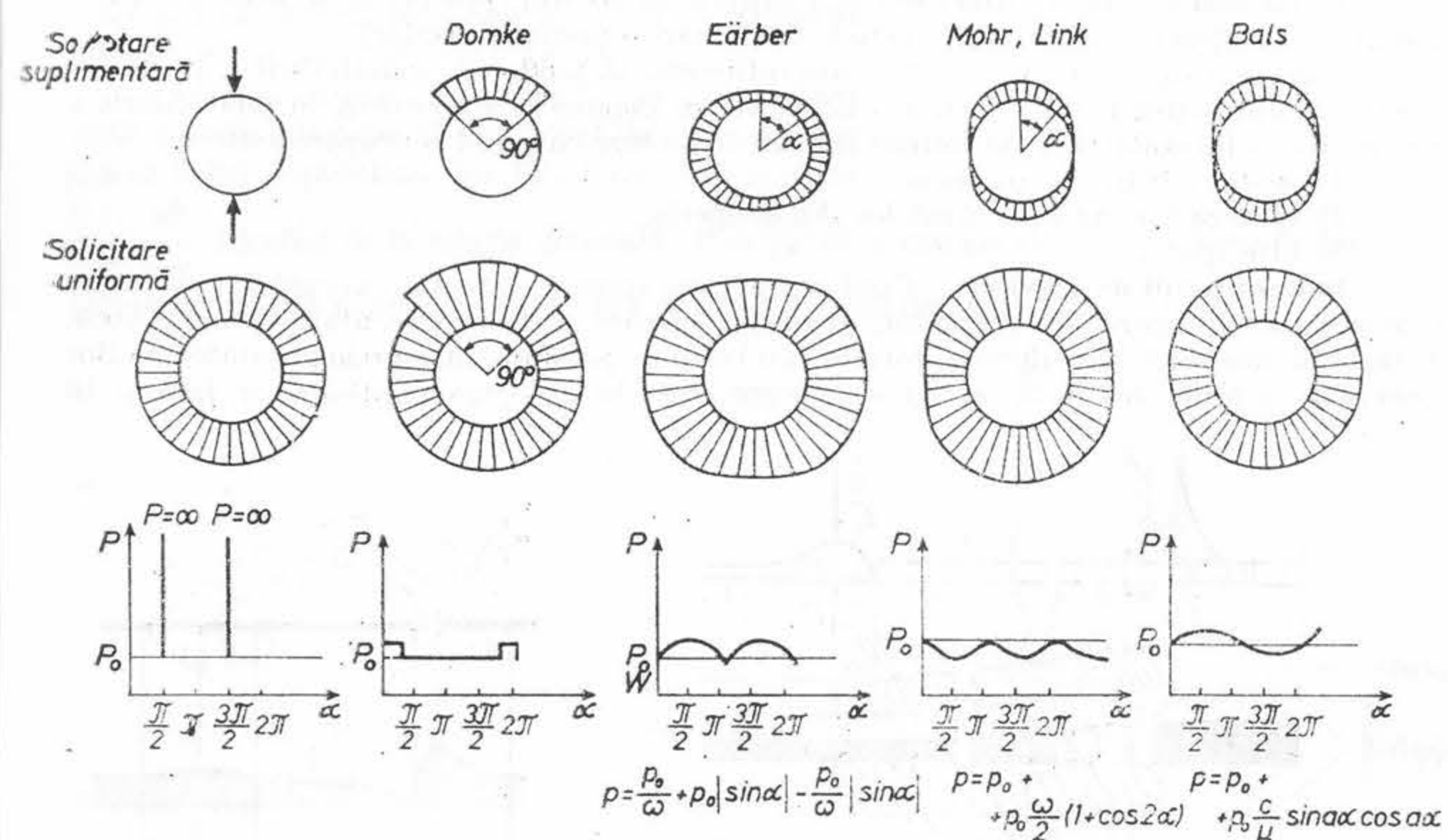


Fig. XVI.89. Distribuția neuniformă a presiunii în jurul lucrărilor miniere verticale.

După unii autori — Țimbarevici, Mohr, Faber — mărimea acestui coeficient variază între 0,1—0,15. Pentru a se putea trece la calculul presiunii în condiții de solicitare neuniformă, unii autori au imaginat mai multe scheme posibile de distribuție neuniformă a presiunii, calculând și valorile presiunii maxime (fig. XVI. 89).

În urma unor măsurători practice și a interpretării lor prin statistică matematică, s-a stabilit următoarea lege de variație a presiunii:

$$p_{\min}^{\max} = p_{\text{med}}(1 \pm 3V), \quad (3.74)$$

în care: p_{min}^{max} reprezintă presiunea maximă sau minimă;

V — coeficientul de variație a presiunii.

3.3.3. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA ABATAJELOR

Studiul manifestării presiunii în abataje permite interpretarea corectă a interacțiunii dintre rocă și susținere, elaborarea unor metode de calcul bine fundamentate din punct de vedere științific, îmbunătățirea construcției susținerilor, reducerea accidentelor de muncă etc. Acest studiu este foarte complicat din cauza numărului mare de parametri ce trebuie luați în considerare, printre care:

— geologici (proprietățile fizico-mecanice ale rocilor înconjurătoare și ale substanței minerale utile, forma, dimensiunile, succesiunea stratigrafică și prezentarea tectonică a rocilor, prezența unor suprafețe de minimă rezistență, precum și existența gazelor și apelor subterane);

— minieri (forma și dimensiunile frontului de abataj, procedeul de abataj folosit, sistemul de susținere a abatajului, metode de dirijare a presiunii rocilor).

Numărul ridicat de parametri care influențează modul de manifestare a presiunii, precum și cunoașterea insuficientă a acestora au condus la explicarea în mod diferit a presiunii și la formularea unui număr ridicat de ipoteze care pot fi grupate astfel:

- 1) ipoteza bolții de presiune;
- 2) ipoteza înconvoierii stratelor din acoperiș;
- 3) alte ipoteze.

Ipoteza bolții de presiune. Conform acestei ipoteze datorită executării excavației și descoperirii acoperișului stratului, deasupra lucrării miniere executate în orice rocă, cu excepția nisipurilor acvifere, se formează o boltă de presiune care preia greutatea rocilor acoperitoare protejind în acest fel susținerea din abataj — transmitând-o în fața și în

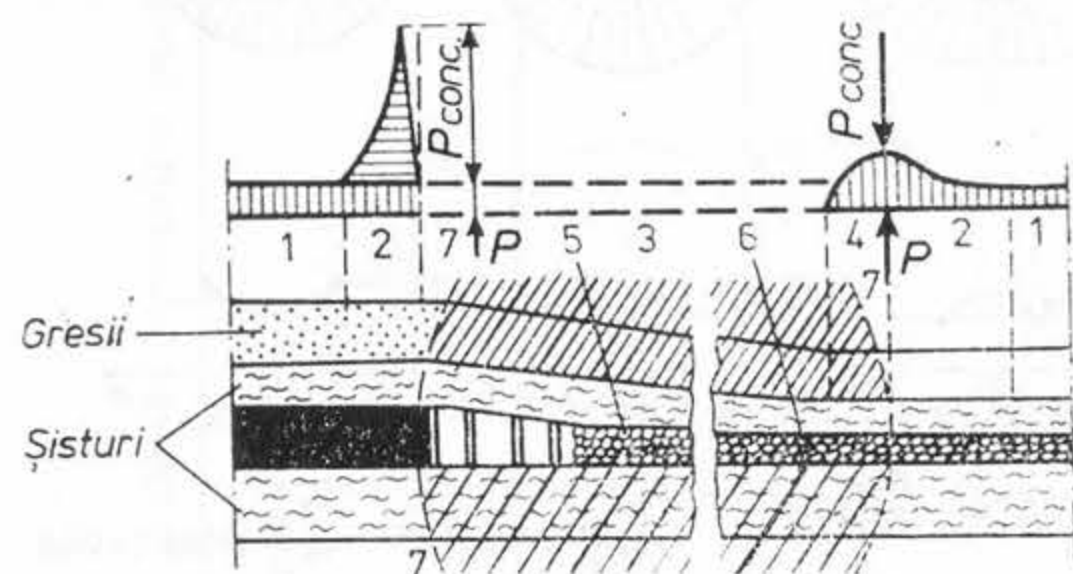


Fig. XVI.90. Schema formării bolții la un abataj :

1 — domeniul stării normale (inițiale) de tensiuni; 2 — domeniul concentrării tensiunilor (al presiunii de reazem); 3 — zonă eliberată de presiune (lipsită de tensiuni); 4 — zonă în care rambleul începe să peria o anumită presiune; 5 — rambleu netasat; 6 — rambleu în cruce de tasare; 7 — limitele zonei tensiunilor reduse.

spatele frontului de abataj. Rocile din interiorul bolții vor fi frământate și eliberate de tensiuni. În consecință, presiunea maximă pe susținere va fi dată numai de greutatea rocilor din interiorul bolții de presiune sau a bolții de echilibru (fig. XVI. 90).

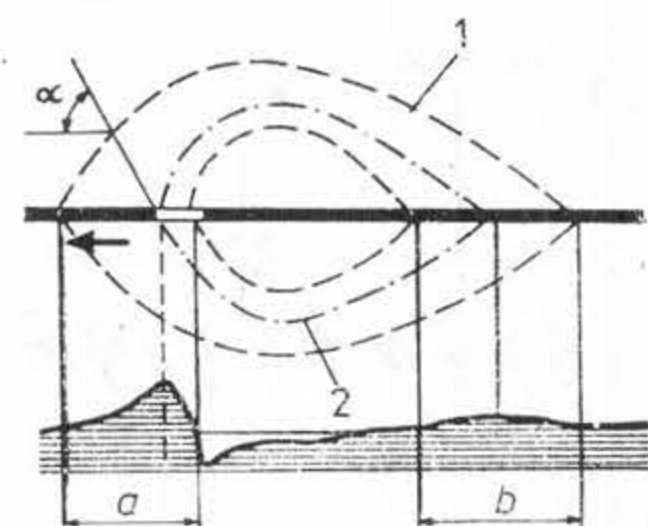


Fig. XVI.91. Formarea bolții de presiune secundară :

a — porțiune frontală a bolții; b — porțiune din spatele bolții; 1 — linie de reazem a bolții; 2 — boltă de presiune în culcușul stratului; α — unghi de surpare.

Pe măsura avansării frontului de lucru, bolta de presiune se amplifică treptat intervenind surparea ei periodică. Avansarea continuă a liniei de front determină formarea unei bolți, denumită *boltă de presiune secundară* (fig. XVI. 91), care se reazemă în spate pe rocile surpate sau pe rambleu. Avansarea continuă a frontului de lucru face ca punctul de reazem din fața bolții să fie mereu subminat și să se deplaseze înainte.

Astfel, deschiderea bolții se mărește din nou, intervenind surparea ei, care atrage după sine mutarea punctului de reazem din spate cât mai aproape de cel din față.

După cum se observă, ipoteza bolții conține două idei fundamentale:

— zona concentrării tensiunilor în masiv are forma de boltă;

— rocile situate în zona concentrării tensiunilor pot să rămână în echilibru, fără participarea rocilor din zona tensiunilor reduse.

Pentru calculul presiunii în punctul cel mai nefavorabil, adică pe ultimul rând de stâlpi, se consideră bolta parabolică din fig. XVI.92 de ecuația:

$y = \frac{x^2}{a_1 f}$. Plecând de la relația generală $P = \gamma_a \cdot H$ și considerând că zăcămintul are o înclinare α , relația generală a presiunii pe ultimul rând de stâlpi va fi:

$$P_{max} = \gamma_a \cdot b \cdot \cos \alpha \text{ dar } b_{max} = \frac{a_1}{f}$$

iar:

$$b = b_{max} - y = \frac{a_1}{f} - \frac{x^2}{a_1 f} \text{ sau } b = \frac{a_1}{f} \left(1 - \frac{x^2}{a_1^2} \right)$$

în care: $x = a_1 - (l_a + S)$

După Protodiakonov, distanța sau zona de strivire (S) are valoarea: $S = 1,6 \sqrt{\frac{H}{f}}$.

De aici, rezultă

$$P_{max} = \frac{\gamma_a \cdot a_1}{f} \left[1 - \frac{\left[a_1 - \left(l_a + 1,6 \sqrt{\frac{H}{f}} \right)^2 \right]}{a_1^2} \right] \cos \alpha$$

Ipoteza înconvoierii stratelor din acoperișul abatajelor grupează mai multe ipoteze, asemănătoare între ele:

Ipoteza grinzilor în consolă deosebește un *acoperiș direct* care se găsește deasupra stratului de cărbune, fiind format din roci care în cazul în care nu sînt susținute se surpă ușor, și un *acoperiș principal*, care se găsește deasupra acoperișului direct sau în unele cazuri chiar deasupra stratului de cărbune, fiind format din roci rezistente care se surpă greu;

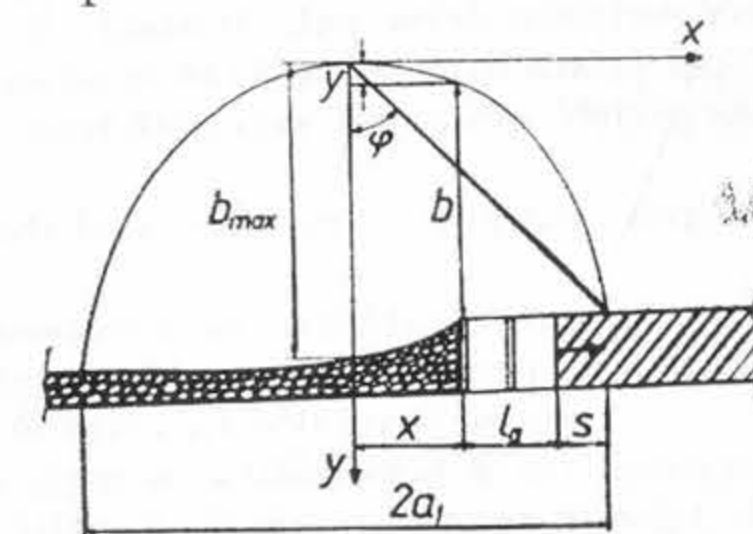


Fig. XVI. 92. Shema de calcul a presiunii pe susținere după ipoteza bolții.

ipoteza presupune că stratele de rocă situate deasupra abatajului pot fi considerate ca niște grinzi sau plăci încastate la unul din capete în masiv, celălalt capăt sprijinindu-se pe susținere, pe roca surpată sau pe rambleu (fig. XVI.93).

Conform acestei ipoteze, presiunea asupra susținerii din abataj este dezvoltată de momentele încovoietoare care apar în consola acoperișului direct și uneori în consola acoperișului principal. Aceasta, datorită faptului că la un moment dat și acoperișul principal poate fi în consolă, în care caz el se sprijină pe rocile surpate din acoperișul direct, acoperișul principal suferind încovoieri sau rupturi periodice. În consecință, presiunea

asupra susținerii obișnuite a abatajului va fi: $P = \gamma_a \cdot m$ sau: $P = \sum_{i=1}^n \gamma_a \cdot m_i$.

Pentru înlăturarea presiunilor exagerate, capătul liber al acoperișului direct se scurtează periodic prin prăbușire.

Ipoteza grinzilor în consolă are meritul că explică în mod satisfăcător modul de concentrare a tensiunilor în zona frontului de lucru și modul de distribuție a presiunii de reazem pentru rocile de diferite rezistențe.

Ipoteza plăcilor consideră că datorită greutateii proprii a stratelor din acoperiș și greutateii stratelor acoperitoare, se vor transmite în pereții spațiului exploatat presiuni concentrate (P_r) (fig. XVI. 94). Pe măsura creșterii spațiului exploatat, stratele — fiind supuse la tensiuni de încovoiere crescînde, proporționale cu distanța dintre reazeme — se

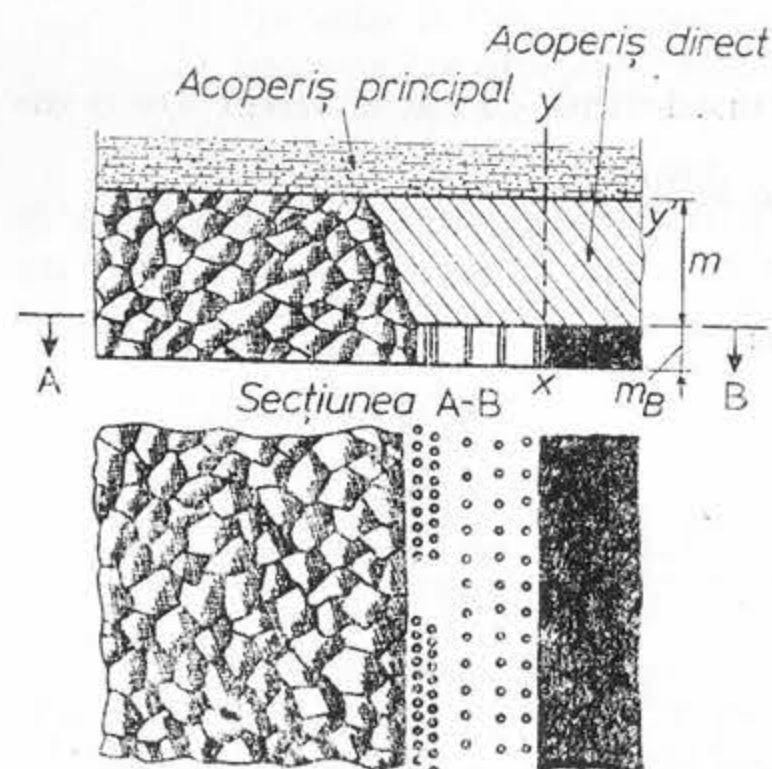


Fig. XVI.93. Acoperiș direct sub forma unei grinzi în consolă în cazul exploatării cu prăbușire totală.

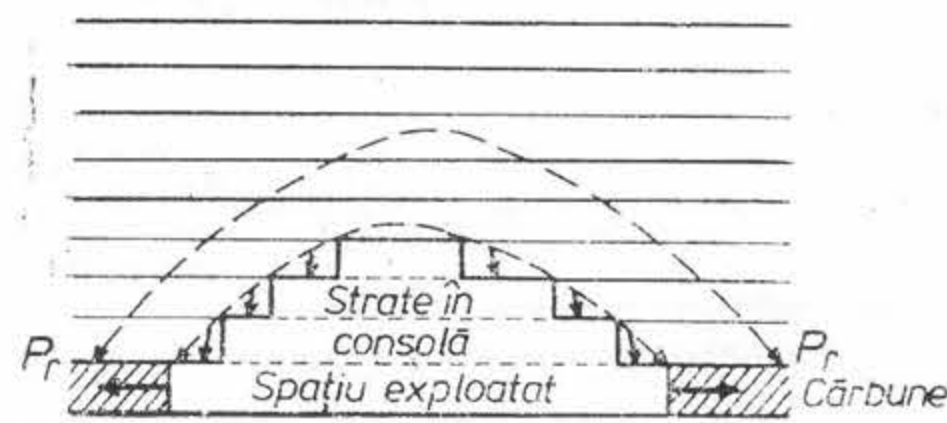


Fig. XVI.94. Schema transmiterii presiunii de reazem după ipoteza plăcilor; P_r — presiunea de reazem.

vor surpa, rămînînd lateral numai porțiuni în consolă, reduse ca lungime. Ca urmare surpării stratelor, se formează deasupra spațiului exploatat o excavație sub formă de boltă, denumită de K. K e g e l boltă aparentă de presiune.

Pentru ca presiunea asupra susținerii din spațiul de abataj să fie cît mai redusă, este necesar ca plăcile în consolă să fie surpate periodic la un anumit interval, denumit pas de surpare.

Ipoteza fisurării prealabile. Conform acestei ipoteze Labasse consideră că în strat, în zonele situate în fața frontului de lucru, are loc formarea unor fisuri cauzate de diferența mare dintre tensiunile principale care apar în rocile situate în zona tensiunilor mărite.

Stratele de roci supuse fisurării suplimentare în zona a doua își pierd rezistența la tracțiune, rezistînd la încovoiere numai datorită frecărilor care se nasc sub influența eforturilor tangențiale de valoare ridicată. Ele sînt pretensionate de rocile acoperitoare, care acționează după legătura grinzilor în consolă, a căror elasticitate depinde de gradul lor de fisurare. Rocile sînt cu atît mai elastice, cu cît gradul lor de fisurare este mai redus. Deoarece au loc deformații pseudoplastice, rezultă că încovoierea stratelor de rocă depinde nu numai de rezistența lor, deschiderea spațiului de lucru al abatajului și mărimea sarcinilor, ci și de timp. Stratele rigide lipsite de fisuri se încovoie mult mai puțin decît stra-

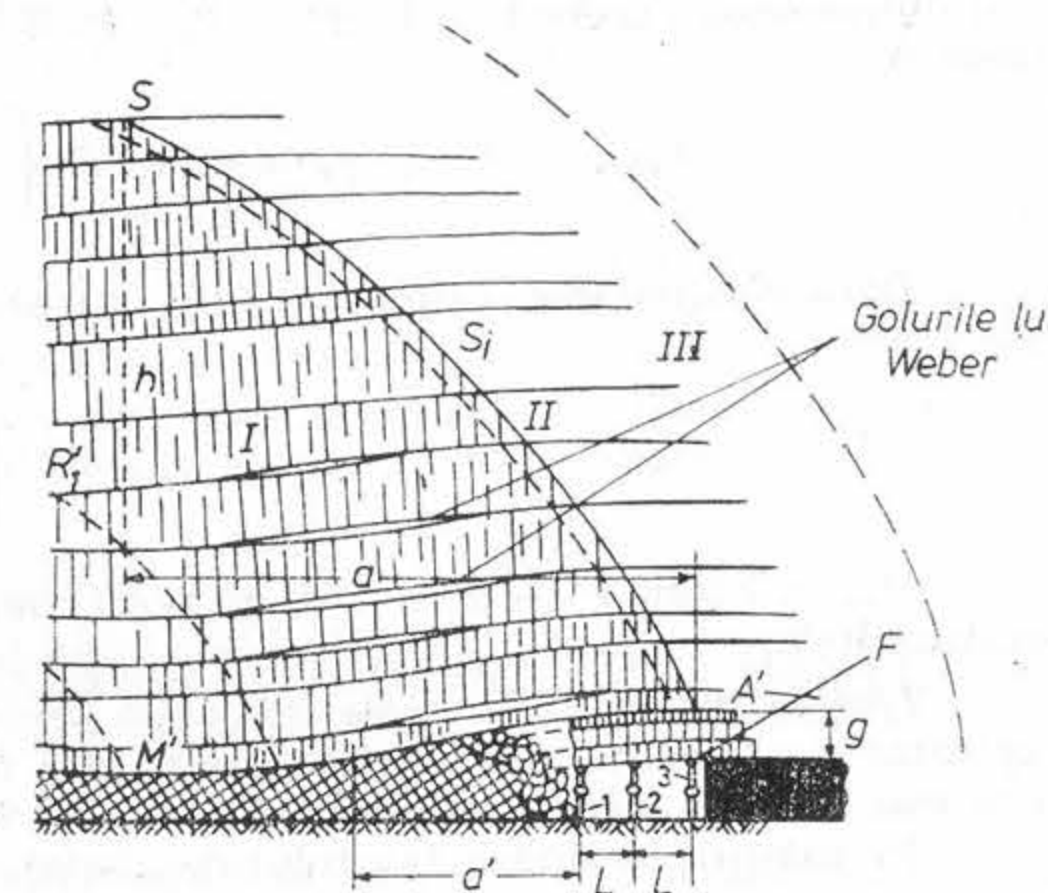


Fig. XVI.95. Formarea golurilor lui Weber după ipoteza lui Labasse.

tele elastice sau mai fisurate care preiau greutatea lor cînd acestea din urmă sînt situate deasupra. Stratele rigide nu participă la încovoiere, dacă stratele elastice sînt situate dedesubt. Această convergență separată a stratelor elastice față de stratele rigide determină formarea unor goluri, numite golurile lui Weber (fig. XVI. 95), goluri care împreună cu fisurile formate creează condiții de migrare a gazelor, de circulație a apelor în cazul cînd abatajele sînt situate sub nivelul hidrostatic.

Se remarcă: aptul că în ipoteza lui Labasse există o concepție logică, potrivit căreia în jurul lucrărilor de abataj se formează o rețea de fisuri sub influența cărora rocile își modifică proprietățile mecanice.

Presiunea creată de rocile acoperișului direct care se surpă asupra stîlpului 2' (fig. XVI. 95) va fi:

$$P_1 = LL' (g \cdot \gamma_a \cos \alpha + p)$$

unde: LL' este distanța dintre stîlpi pe direcție;

p — presiunea creată prin destinderea uniformă a rocilor acționînd perpendicular pe planele de stratificație.

În lipsa intercalațiilor, valoarea lui p poate fi neglijată și deci:

$$P_1 = LL' g \cdot \gamma_a \cdot \cos \alpha$$

Asupra susținerii mai acționează și o parte a presiunii create de rocile din triunghiul cu baza a și înălțimea h , precum și presiunea specifică de destindere p și deci:

$$P_2 = F \cdot L' \left(\frac{ah}{6} \gamma_a \cos \alpha + \frac{a}{2} p \right)$$

unde: F este coeficient care determină cota parte din presiunea de reazem ce rămâne unui stîlp.

Presiunea maximă va fi: $P = P_1 + P_2$ și deci:

$$P_{max} = LL' g \cdot \gamma_a \cdot \cos \alpha + FL' \left(\frac{ah}{6} \gamma_a \cdot \cos \alpha + \frac{a}{2} p \right)$$

Dacă elasticitatea stîlpului este e , iar săgeata acoperișului în punctul respectiv este f atunci:

$$P_{max} = LL' g \cdot \gamma_a \cos \alpha + FL' \left(\frac{ah}{6} \gamma \cos \alpha + \frac{a}{2} p \right) e \cdot f$$

Din categoria ipotezelor care nu pot fi încadrate în primele două grupe, fac parte printre altele:

Ipoteza surpărilor în trepte aplicabilă pentru cazul cînd în acoperișul zăcămintului exploatat s-a format o zonă de tensiuni reduse, în formă de prismă triunghiulară cu baza ceva mai mare ca lățimea abatajului (fig. XVI.96).

Pe măsura înaintării frontului de abataj, zona de tensiuni reduse va crește de la lățimea a la lățimile a_1 și b_2 . În cazul cînd $H = \frac{a}{2}$, unde H este adîncimea de la suprafață și a semilățimea abatajului, zona de tensiuni reduse va atinge suprafața, iar partea în

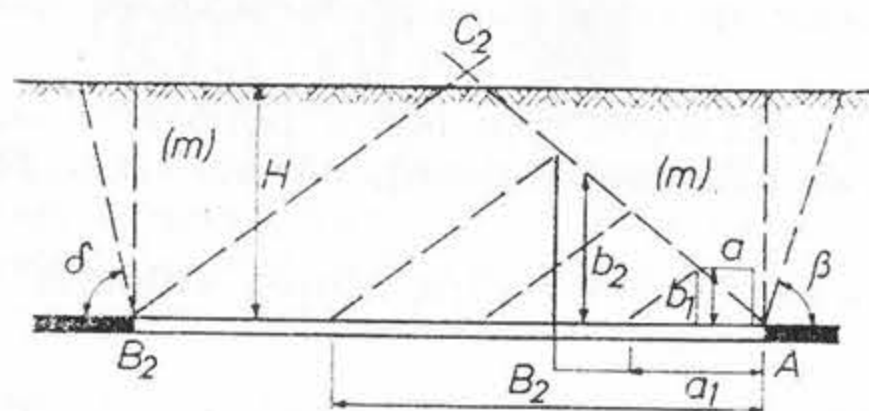


Fig. XVI.96. Schema de calcul a presiunii asupra tavanului abatajelor (după P. M. Țimbarevici).

consolă m a formațiunilor de roci acoperitoare va începe să se fisureze. Planurile de fisurare, respectiv de rupere vor forma cu planul orizontal, dus prin tavanul abatajului, unghiurile δ — în partea înspre care înaintază abatajul și β în partea opusă.

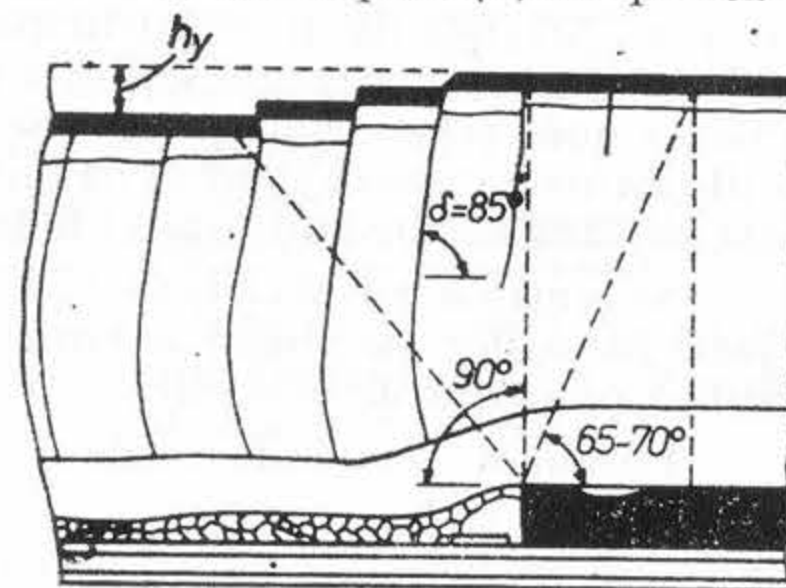


Fig. XVI.97. Schema deformării în trepte a rocilor din acoperișul stratorilor, cînd zăcămintul se află la adîncime mică.

Aceste fisuri delimitează coloana de roci sterile în prisme de alunecare care au anumite dimensiuni. Valoarea cea mai ridicată a presiunii va avea loc pentru situația cînd frontul de lucru se găsește între două crăpături (fig. XVI. 96).

Ipoteza blocurilor articulate emisă de G. M. Kuznetsov consideră că rocile din acoperișul stratului de cărbune se fisurează și se desprind sub forma unor blocuri. Autorul distinge două zone de surpare a blocurilor (fig. XVI. 97):

— zona surpărilor neregulate, formată din rocile acoperișului direct, avînd un coeficient de afinare de $K = 1,25 - 1,4$;

— zona surpărilor regulate, formată din rocile mai rezistente ale acoperișului principal, în care fisurația este mai puțin pronunțată, iar blocurile desprinse suferă o deplasare mai ordonată, rocile în ansamblul lor avînd un coeficient de afinare de $K = 1,05 - 1,15$.

În zona surpărilor regulate, blocurile separate între ele prin fisuri nu își pierd complet legătura între ele, formînd un sistem articulat cu mai multe verigi, care se lasă în mod ordonat asupra spațiului exploatat. Observațiile directe din subteran, precum și concluziile desprinse în urma studierii fenomenului pe materiale echivalente, au arătat că înălțimea zonei de surpare nu depășește de 4—5 ori grosimea stratului de cărbune.

Rezultă că pentru păstrarea portanței rocilor din acoperiș și împiedicarea fenomenului de fragmentare a acestuia, capacitatea portantă a susținerilor nu trebuie să aibă valori ridicate.

3.4. STUDIUL MANIFESTĂRII PRESIUNII MINIERE PRIN MĂSURĂTORI DIRECTE

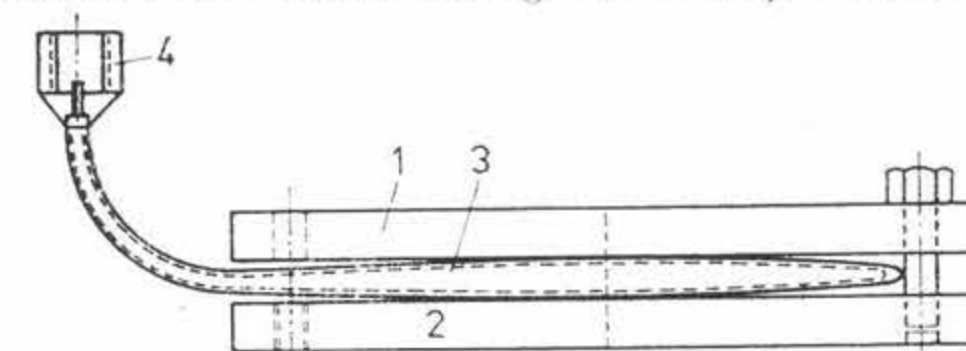
Măsurarea directă a presiunii care acționează în excavațiile subterane se realizează cu aparate funcționînd pe principii mecanice, hidraulice, electrice sau pe principii combinate.

Aparatele *mechanice* se bazează fie pe deformarea în limite elastice ale unor dinamometre, fie pe mărimea urmei lăsată de către bile de oțel în plăci de oțel cu rezistență redusă.

Aparatele *hidraulice* se bazează pe proprietatea de incompresibilitate a lichidelor ca: mercur, ulei, glicerină etc. astfel de aparate fiind redată în fig. XVI.98 și XVI.99.

Fig. XVI.98. Dinamometru hidraulic Wohlbiel-Ambatiello:

1, 2 — plăci de solicitare; 3 — aparatul propriu-zis;
4 — mufă de legătură cu aparatul de măsurare a presiunii.



Aparatele *electrice* se bazează, în cazul cel mai general, fie pe metoda tensometriei electrice, fie pe modificarea frecvenței vibrării unor coarde de oțel în funcție de solicitare (fig. XVI. 100).

Aparatele combinate sînt, în general, aparate electro-hidraulice combinînd cele două caracteristici, în scopul obținerii unei precizii mai mari (fig. XVI.101). Folosirea diferitelor tipuri de aparate se face în funcție de loc, de rocă, condițiile exsistente și de precizia urmărită. Măsurătorile se realizează prin amplasarea aparatelor între susținere și rocă, prin încastrarea acestora în beton, între tavan și vatră sau prin menținerea lor în spațiul surpat.

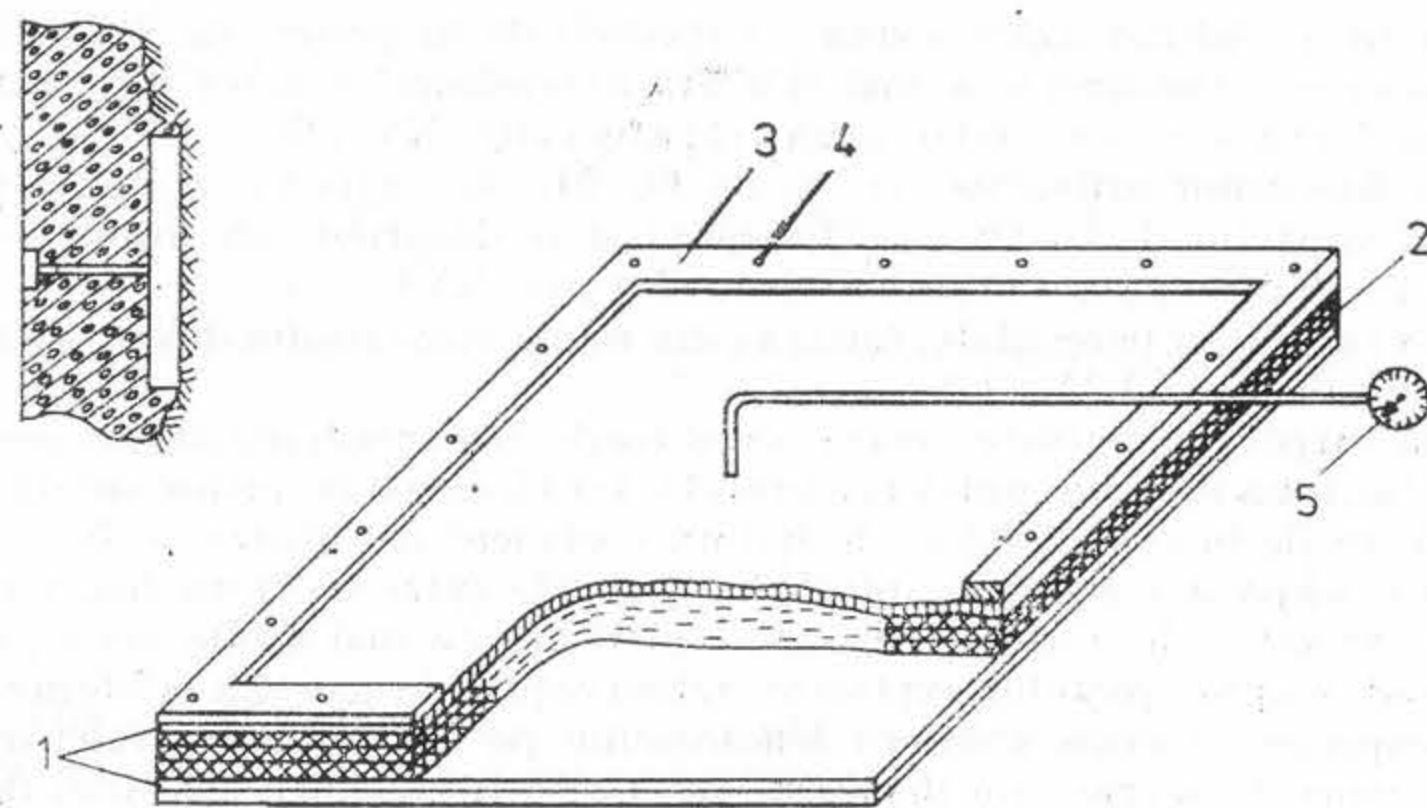


Fig. XVI.99. Aparat hidraulic — tip I.M.P. — 3:

1 — plăci de solicitare; 2 — garnitură de etalonare; 3 — rama de prindere; 4 — șuruburi de legătură; 5 — aparat de măsurare.

Fig. XVI.100. Aparat pentru măsurarea presiunii radiale.

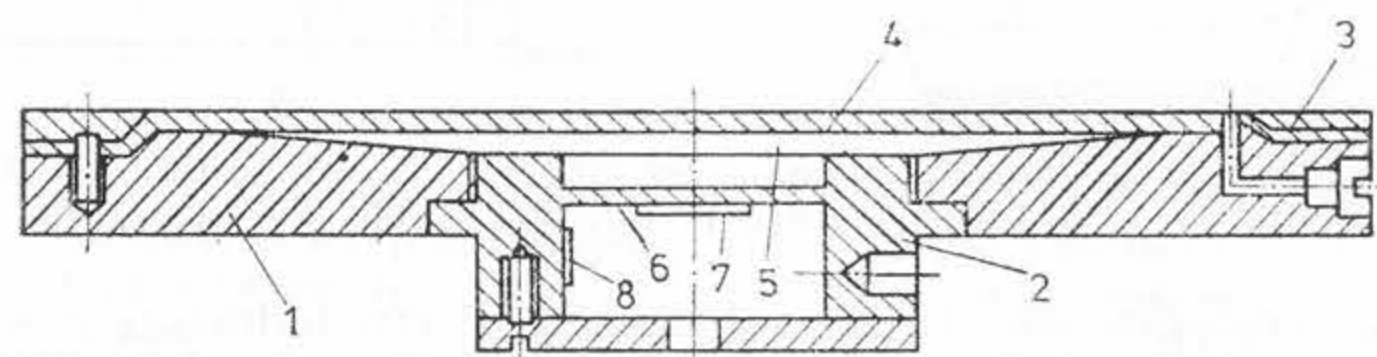
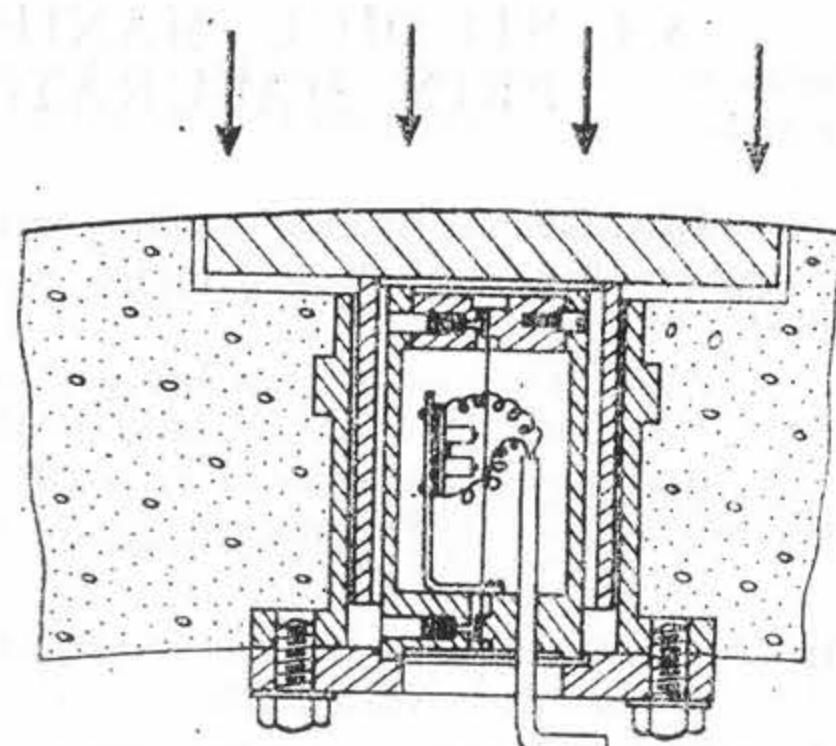


Fig. XVI.101. Aparat electric tip Freiberg:

1 — corp metalic; 2 — cilindru de legătură; 3 — inel de etanșare; 4 — membrană elastică; 5 — cameră cu lichid sub presiune; 6 — membrană elastică de oțel; 7 — marcă tensometrică activă; 8 — marcă tensometrică de compensare.

În urma unui mare număr de măsurători, pentru a putea trage concluzii juste și folositoare, este necesar ca rezultatele obținute în măsurătorile individuale să fie prelucrate.

3.5 STUDIUL MODULUI DE MANIFESTARE A PRESIUNII PRIN METODA MODELĂRII CU MATERIALE ECHIVALENTE

Datorită faptului că metodele teoretice de cercetare a stărilor de tensiuni, a presiunilor și deplasărilor de roci s-au dezvoltat pentru cazuri ideale, și faptului că modul de manifestare a presiunii este determinat de o serie de cauze și factori care acționează simultan, lucru ce implică studiul acestora în natură, în prezent se folosesc pe o scară din ce în ce mai mare studii prin metoda modelării.

Această metodă constă în înlocuirea rocilor naturale, respectiv a substanței minerale utile, care se cercetează, cu materiale artificiale având proprietăți fizice, mecanice și elastice similare, respectându-se legile similitudinii dintre obiectul de modelat și modelul de laborator experimental.

Similitudinea geometrică (α_L) impune ca raportul între dimensiunile liniare din natură și dimensiunile liniare corespunzătoare din model să rămână constante, adică:

$$\frac{L_n}{L_m} = \alpha_L = \text{constant}, \quad (3.75)$$

Similitudinea cinematică (α_t) consideră că particulele de rocă din natură, respectiv cele din model, deplasându-se după o traiectorie geometrică asemănătoare, parcurg în unitatea de timp un drum geometric asemănător, adică:

$$\frac{T}{t} = \alpha_t = \text{constant}, \quad (3.76)$$

Similitudinea dinamică (α_γ) se obține atunci când masele punctelor asemănătoare din natură și din model se deosebesc printr-o constantă:

$$\frac{\gamma_{aN}}{\gamma_{aM}} = \alpha_\gamma = \text{constant}, \quad (3.77)$$

Pornindu-se de la legile de bază ale similitudinii, se pot stabili relațiile de dependență dintre materialele, respectiv rocile din natură și cele din model. Astfel, în cazul proceselor de deformare și rupere, se deosebesc următoarele relații:

$$\begin{aligned} \sigma_{rcM} &= \sigma_{rcN} \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \\ \sigma_{rtM} &= \sigma_{rtN} \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \\ c_M &= c_N \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \\ \text{tg}\varphi_M &= \text{tg}\varphi_N, \end{aligned} \quad (3.78)$$

Condițiile asemănătoare ale proceselor în domeniul elastic necesită următoarele cerințe:

$$E_M = E_N \alpha_Y^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \quad (3.79)$$

Condiția de asemănare a proceselor în domeniul deformărilor plastice este dată de relația:

$$\frac{\varepsilon_{pM}}{(\varepsilon_e + \varepsilon_p)_M} = \frac{\varepsilon_{pN}}{(\varepsilon_e + \varepsilon_p)_N} \quad (3.80)$$

cu respectarea condiției:

$$\varepsilon_e + \varepsilon_p = f(\sigma) \quad (3.81)$$

În cazul modelării unei coloane stratigrafice formată din mai multe strate cu proprietăți mecanice diferite, condițiile de modelare impun ca:

$$\frac{\gamma_{a1M}}{\gamma_{a1N}} = \frac{\gamma_{a2M}}{\gamma_{a2N}} \dots \dots \frac{\gamma_{anM}}{\gamma_{anN}};$$

$$\frac{\eta_{1M}}{\eta_{1N}} = \frac{\eta_{2M}}{\eta_{2N}} \dots \dots \frac{\eta_{nM}}{\eta_{nN}};$$

Un parametru de bază în modelare este *valoarea sau scara timpului*; aceasta va fi determinată din relația:

$$\alpha_T = \frac{\eta_N}{\eta_M} \cdot \alpha_Y^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}, \quad (3.82)$$

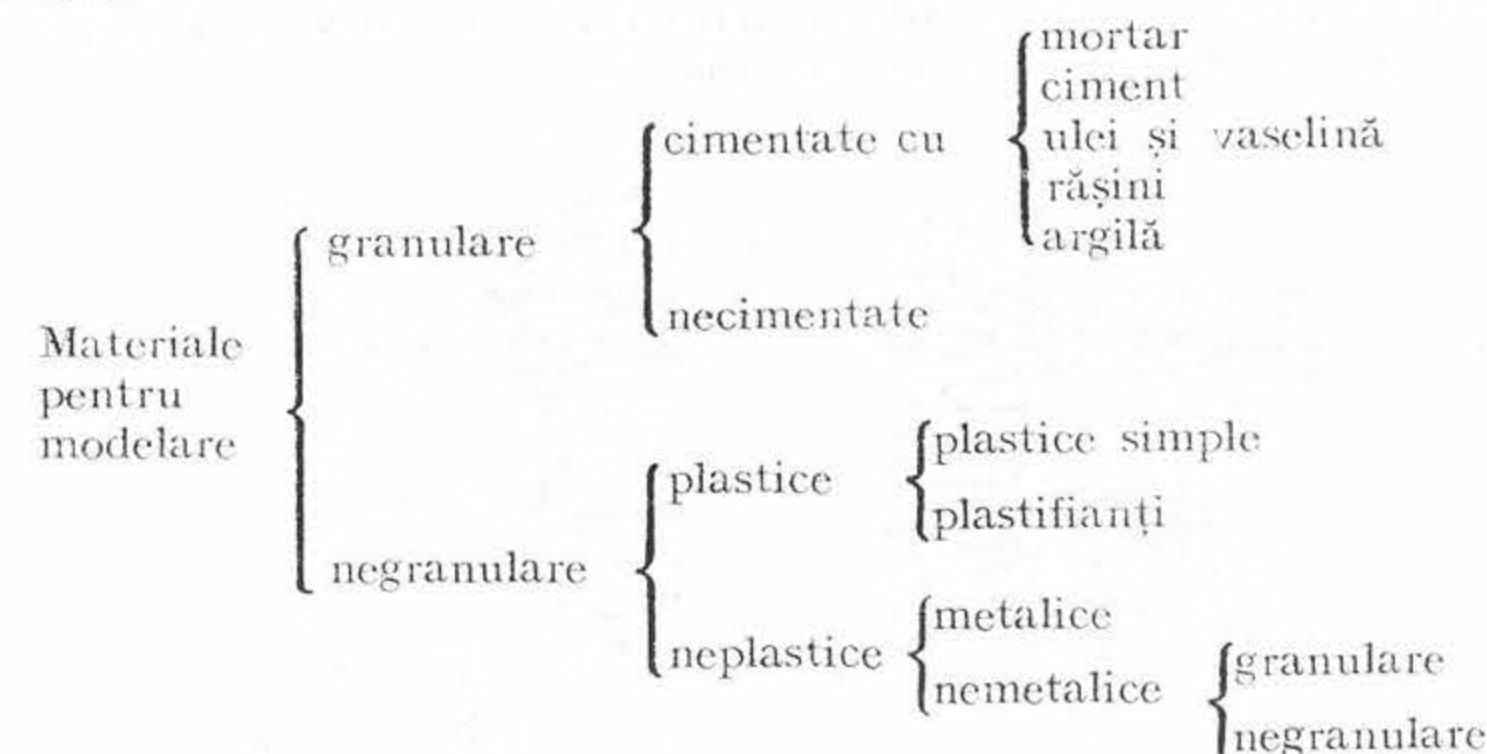
Datorită greutăților intervenite în determinarea viscozității dinamice, în mod frecvent se folosește pentru scara timpului relația

$$\alpha_T = \sqrt{\alpha_L}. \quad (3.83)$$

Pentru diferite condiții, în funcție de natura materialelor alese pentru modelare și de scopul urmărit, totalitatea condițiilor de similitudine poate fi simplificată.

Pentru realizarea machetelor de materiale echivalente, se folosesc o serie de materiale, care după Departamentul de Proiectări în Mecanica Rocilor din S.U.A. pot fi

clasificate astfel:



În mod obișnuit se folosesc materiale granulare necimentate sau cimentate cu ulei, vaselină, gips, parafină, colofoniu etc.

Elementul care umple masa materialului echivalent este nisipul cuarțos sau mase artificiale asemănătoare. Solventul pentru materialele preparate la rece este apa — pentru gips, benzina — pentru vaselină. Amestecurile cu parafină și în parte cu materiale plastice sînt preparate la cald.

În afara liantului și a solventului, în compoziția materialelor echivalente pentru modelarea rocilor mai intră diferite adaosuri, avînd drept scop modificarea unor parametri ai acestora.

Din încercările realizate în laboratorul de mecanică a rocilor de la Institutul de Mine Petroșani s-a constatat că o modificare oricît de mică a unui singur parametru influențează proprietățile materialului echivalent.

Pentru realizarea încercărilor pe modele de materiale echivalente se folosesc standuri de modelare fixe sau rotative, plane sau volumetrice. În funcție de scara de modelare aleasă, standurile au lungimi de la cîteva zeci de centimetri, la cîteva zeci de metri și lățimi corespunzătoare scării.

Pentru punerea în evidență a modului în care se deformează diferite categorii de roci din jurul unei lucrări miniere orizontale, au fost întreprinse o serie de cercetări pe standuri plane, avînd ca materiale echivalente:

— plastilină (proprietăți plastice pronunțate);

— parafină (proprietăți elasto-casante);

— nisip + parafină (proprietăți variabile în funcție de cantitatea de parafină, granulometria nisipului etc.).

În urma încercărilor efectuate pe modelele din gelatină-glicerină au fost obținute rezultate însemnate referitoare la modul de deformare a rocilor (fig. XVI.102).

Ca o deficiență a încercărilor se poate semnală faptul că acestea nu indică mărimea tensiunilor din jurul lucrărilor miniere. Încercările realizate prezintă și deficiența că nu au luat în considerare reacțiunea susținerii.

Studii mai complexe efectuate pe materiale echivalente stratificate, cu luare în considerare a reacțiunii susținerii, au pus în evidență modul de comportare, de deformare și rupere a rocilor în situații care se apropie de situațiile reale din natură. Astfel, au fost executate lucrări miniere circulare, susținerea fiind modelată cu ajutorul unor tuburi cilindrice de cauciuc în care s-a introdus apă sub presiune, presiunea creată fiind echivalentă cu reacțiunea susținerii. În urma acestor încercări, s-au constatat următoarele:

— când modelul a fost supus unei presiuni verticale de 22 daN/cm^2 și unei presiuni orizontale de 15 daN/cm^2 , reacțiunea susținerii fiind zero, roca înconjurătoare s-a deformat astfel încât secțiunea lucrării s-a redus cu circa 60%;

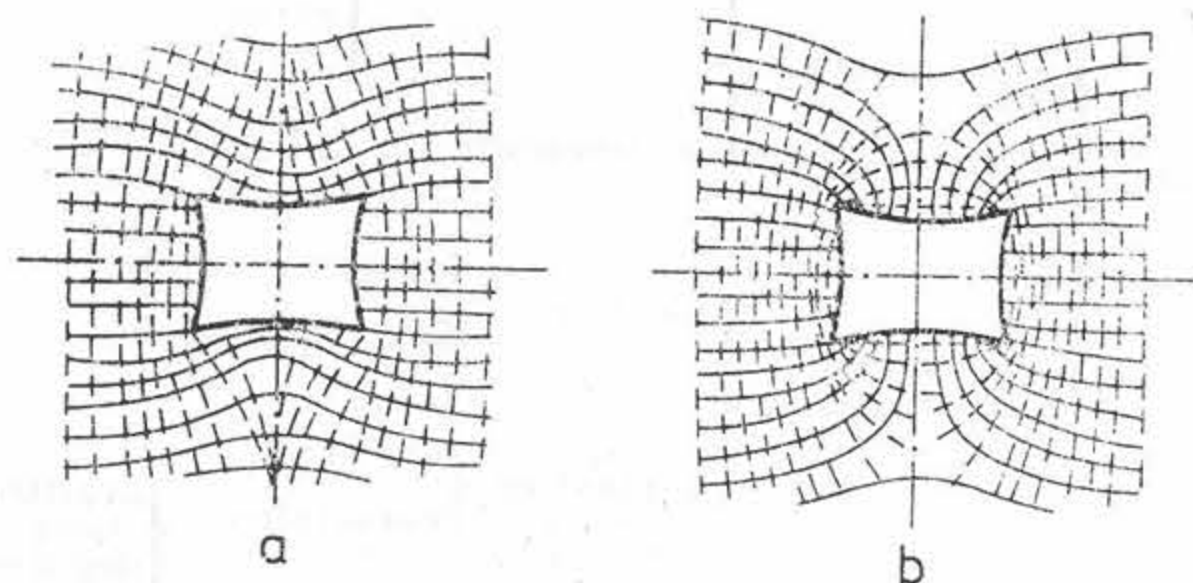


Fig. XVI.102. Model de gelatină-glicerină cu posibilitate de deformare liberă:

a — numai în lungul secțiunii tăiate în placă și traiectoriile tensiunilor principale; b — numai spre interiorul secțiunii tăiate în placă și traiectoriile tensiunilor principale (după E. Lehr, K. Seidl).

— când modelul a fost supus unei presiuni verticale de 22 daN/cm^2 și unei presiuni orizontale de 21 daN/cm^2 , reacțiunea susținerii fiind de circa 1 daN/cm^2 , secțiunea lucrării a fost redusă cu 34 % din secțiunea inițială;

— când presiunea verticală a fost de 22 daN/cm^2 , presiunea orizontală de $15,5 \text{ daN/cm}^2$, iar reacțiunea susținerii de $3,5 \text{ daN/cm}^2$, secțiunea lucrării a suferit o reducere de numai 18%.

Încercările de acest fel sînt foarte utile, cu ajutorul lor putîndu-se stabili, pentru diferite condiții din natură, felul și reacțiunea necesară a susținerii, astfel ca lucrarea minieră să fie stabilă.

Un studiu asemănător a fost realizat, în Laboratorul de mecanica rocilor de la I. M. Petroșani, pentru proiectarea tunelului de acces în subteran la mina Șuilor. Cu ajutorul unui stand plan s-a studiat forma optimă a profilului transversal al tunelului, reacțiunea necesară a susținerii, modul de deformare și rupere a rocilor înconjurătoare.

Rocile au fost modelate ținînd seama de legile similitudinii, proprietățile acestora fiind realizate pentru scara de modelare 1:50. Solicitarea asupra susținerii a fost realizată prin intermediul unor pîrghii de care s-au atîrnat anumite greutăți. Susținerea a fost modelată dintr-o membrană de cauciuc, iar reacțiunea susținerii s-a realizat prin presiunea de aer în interiorul membranei. Concluziile la care s-a ajuns au indicat o secțiune transversală sub formă de potcoavă cu vatră curbă și o susținere din beton, avînd grosimi variabile funcție de rocile străbătute.

Pentru studiul fenomenelor din jurul lucrărilor miniere verticale se folosesc de obicei standuri volumetrice. Un asemenea stand a fost realizat în laboratorul de mecanica rocilor de la I. M. Petroșani, urmărindu-se solicitarea asupra susținerii, mișcările de roci, precum și variația tensiunilor verticale și a celor radiale. În principal, standul a fost format dintr-o coloană centrală care a imitat puțul propriu-zis, susținerea fiind modelată cu ajutorul unor pastile hidraulice. De la fiecare pastilă hidraulică, prin intermediul unor tuburi flexibile, s-a făcut legătura cu un tub capilar cu ajutorul căruia a putut fi determinată solicitarea asupra susținerii.

Deplasarea rocilor a fost urmărită cu ajutorul unor repere prevăzute cu micro-comparatoare, iar starea de tensiune a fost determinată cu ajutorul unor microdinamometre tensometrice.

Pe măsura încărcării modelului cu materiale echivalente în strate succesive, acesta a fost închis într-o cămașă metalică.

Modelarea lucrărilor miniere de abataj este asemănătoare cu modelarea lucrărilor miniere orizontale, cu deosebirea că în acest caz standurile de modelare au dimensiuni cu mult mai mari, pentru a putea urmări totalitatea fenomenelor pe măsura avansării frontului de lucru.

4. STABILITATEA TALUZELOR

4.1. CONSIDERAȚII PRIVIND CONDIȚIILE ȘI FACTORII CARE DETERMINĂ STABILITATEA TALUZELOR

Problema stabilității taluzelor în roci este legată de activitatea minieră de producție din exploatarea la zi, de realizarea construcțiilor hidrotehnice, feroviare, rutiere, de executarea galeriilor de coastă pentru activitatea minieră subterană, protejarea zonelor locuite sau cultivate cu relief accidentat. Dacă evaluarea stabilității taluzelor în cazul construcțiilor feroviare și rutiere este o problemă oarecum simplă și realizabilă cu costuri reduse, ea constituie o problemă de prim ordin atît din punct de vedere tehnic cît și economic în cazul exploatarea la zi (carierele adînci, pentru asigurarea stabilității taluzelor în timpul exploatarea: carierele de lignit din Oltenia, carierele de sisturi bituminoase de la Anina, carierele de la Moldova Nouă, Roșia Poeni etc.), a construcțiilor hidrotehnice și a celorlalte domenii precizate. Mai mult, se impune proiectarea acestor taluzuri și analiza stabilității lor.

A proiecta un taluz înseamnă a-i determina forma, panta și înălțimea lui în condiții de stabilitate asigurată. Pe plan mondial s-a ajuns cu carierele la adîncimea de 1000 m. La asemenea lucrări, mai ales, asigurarea stabilității taluzelor face ca problema configurației acestora să devină un factor deosebit de important în aprecierea economicității, deoarece cantitatea de steril ce trebuie dislocată se modifică în funcție de dimensiunile geometrice ale taluzului (pentru o creștere a pantei taluzelor cu 1° , la o carieră cu dimensiunile $300 \times 300 \times 100 \text{ m}$ se extrage în plus 1 milion tone de minereu).

Stabilitatea taluzelor se exprimă printr-un *coeficient de siguranță* η sau *factor de stabilitate* F_s , ca și raportul dintre forțele de rezistență și cele de alunecare și deci pentru a avea un taluz stabil trebuie ca $\eta > 1$; $\eta = (\Sigma F_r / \Sigma F_{1a}) \geq 1$, adică să existe o rezervă de stabilitate.

Calitativ, conceptul de stabilitate reprezintă o nedeterminare. Coeficientul η sau F_s se ia mai mare, în funcție de gradul de nedeterminare a problemei. Stabilitatea are un caracter relativ: 1) atît din punct de vedere a timpului, coeficientul de stabilitate avînd valori diferite pentru taluzuri cu durată diferită (definitive sau de exploatare): $\eta = [(T+b)/a]^{1/n}$; unde a și b sînt coeficienți ce depind de proprietățile de rezistență ale rocilor; n — coeficientul funcție de natura rocii și comportamentul acesteia la rupere prin forfecare (tabelul XVI. 30); T — durată taluzului (tabelul XVI. 31); 2) cît și din punct de vedere spațial valoarea coeficientului de stabilitate η variază de la $\eta = 2-2,5$ la partea superioară a taluzului, pînă la $\eta = 1-1,3$ la baza lui.

Pierderea stabilității poate avea loc prin apariția și dezvoltarea suprafețelor de rupere în interiorul masivului, prin dezvoltarea zonelor de deformare neelastică sau datorită fenomenului de fluaj, consecințe ale stării de tensiune secundară creată în

masiv odată cu executarea în acesta a taluzului. Ca urmare a stării de tensiune secundară ce apare în taluzuri, imediat ce acestea s-au executat în masivele de rocă, fenomenul de pierdere a stabilității lor este de așteptat în cazul în care proiectarea elementelor taluzelor nu s-a realizat în contextul acestei stări și a tuturor factorilor ce determină stabilitatea lor (tabelul XVI.32).

Tabelul XVI.30
Valori ale coeficienților utilizați în determinarea stabilității de durată a taluzelor

Caracterizarea structural-texturală a rocii sau masivului	Valoarea unghiului de taluz θ [grade]								
	10°—30°			30°—60°			> 60°		
	a	b	n	a	b	n	a	b	n
Omogene, neafectate de suprafețe de minimă rezistență sau slăbiri structurale; stabile	1,2	0,9	6,0	1,17	0,92	5,2	1,15	0,95	4,8
Omogene, slab fisurate; de stabilitate medie	1,15	0,88	5,5	1,08	0,87	4,8	1,10	0,86	4,6
Omogene, fisurate, de stabilitate mică spre medie, adică potrivită	1,05	0,84	5,0	1,03	0,82	4,6	1,05	0,8	4,2
Neomogene constituite din blocuri; repartizarea tensiunilor în masiv este neuniformă	1,05	0,8	4,5	1,02	0,75	4,3	1,0	0,7	4,0

Tabelul XVI.31

Coeficientul de siguranță în funcție de durata taluzului

Coeficientul de siguranță	Durata de existență a taluzului T [ani]
1,1—1,2	1
1,2—1,5	< 20
1,5—2,0	> 20
3	seculară

Tabelul XVI.32

Factorii care determină stabilitatea taluzelor

Grupa de factori	Factorii		Caracterizarea succintă a influenței factorilor asupra stabilității taluzelor
	0	1	
0	<p>Grupă proprietăților de legătură create în timp de fenomenele geotectonice</p>		<p>Caracterizarea succintă a influenței factorilor asupra stabilității taluzelor</p>
1	<p>1°. <i>Natura litologică: structura și textura masivului: compoziția mineralogică. Natura și cimentul de legătură.</i></p> <p>2°. <i>Fragmentarea naturală a masei de rocă: la scară cristalină; la scară mare (stratificația, sistozitatea, disjuncțiunea, divizibilitatea, fracturarea, faliea); istoricul tectonic al masivului: heterogenitatea (heterotropia și anizotropia masivului).</i></p>		<p>Cunoașterea proprietăților ce caracterizează geologic și tectonic structural și textural masivul de rocă este un indicator calitativ cu privire la alegerea, proiectarea și verificarea elementelor geometrice ale taluzelor și a stabilității lor. În acest context se impune cunoașterea elementelor geometrice (orientarea, înclinarea), a parametrilor ce caracterizează fragmentarea naturală a masivului, a suprafețelor de minimă rezistență (stabilitate mai mică la o înclinare conformă și mai mare la o înclinare inversă), tabelul XVI.32. Natura litologică, tipul de masiv influențează și cantitativ valorile elementelor geometrice ale taluzelor (tabelul XVI.32). Recomandările orientative privind alegerea acestor elemente (θ și h) ale taluzelor au în vedere: structura și tectonica masivului, alcătuirea structurală, direcția și înclinarea straturilor și a fisurilor (fig. XVI.103); poziția straturilor (taluzele proiectate pe o direcție paralelă cu cea a straturilor, fisurilor etc. sunt mai puțin stabile decât cele orientate perpendicular pe această direcție); orientarea înclinării straturilor, fisurilor etc. (când panta taluzului și înclinarea straturilor cad în aceeași parte, ne aflăm în cea mai defavorabilă situație a stabilității; când înclinarea straturilor cade spre taluz, rezerva de stabilitate este de câteva ori mai mare). Căderea accidentelor tectonice de aceeași parte cu panta taluzului duce la pierderea stabilității lui</p>

0

2

chiar în cazul când stratele-fisurile etc. înclină spre taluz. Se impune deci o cunoașterea aprofundată și temeinică a acestor parametri local și regional, deoarece funcție de ei se va alege schema și metoda de calcul a stabilității taluzelor.

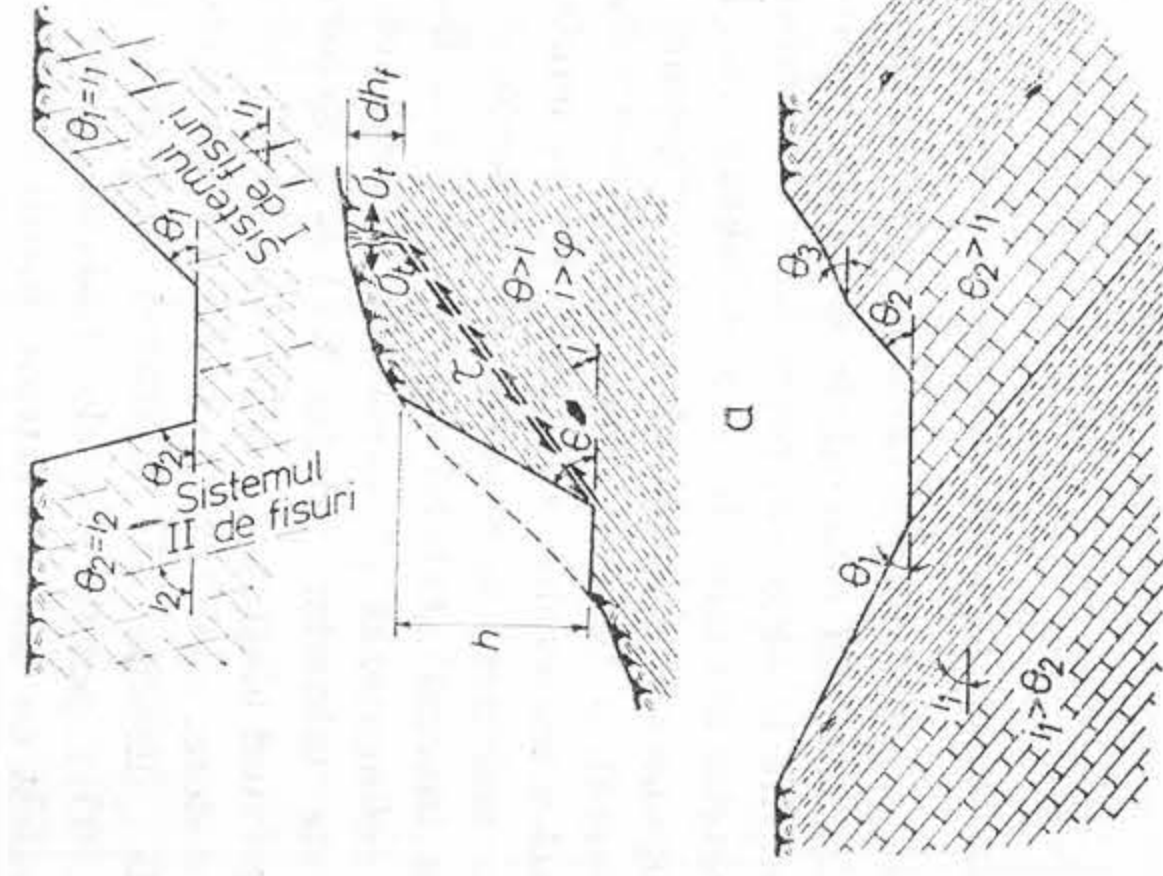


Fig. XVI.103. Factorii care influențează valoarea θ și h ;

a — direcția și înclinarea fisurilor concordantă cu θ ;
b — discordantă cu θ .

3°. Regimul hidrogeologic și climateric (influența apelor de suprafață, subterane)

Grupa proprietăților de legătură create în timp de fenomenele geotectonice

1°. Caracteristici fizice de densitate (greutatea specifică aparentă, porozitatea, indicele golurilor).

2°. Caracteristici fizice referitoare la faza lichidă din rocă (umiditatea naturală, umiditatea la saturare și gradul de saturare, capacitatea de adsorbție-absorbție)

3°. Caracteristici fizice referitoare la faza solidă a rocii (analiza granulometrică).

4°. Caracteristici fizice referitoare la sistemul trifazic al rocii (permeabilitatea, proprietățile de filtrare, gradul de filtrare, gradul de alterare, de dezagregare).

5°. Caracteristici de rezistență (tracțiune, compresiune, forfecare), coeziunea și unghiul de frecare interioară, unghiul de taluz natural, coeficientul de frecare, umflarea.

6°. Caracteristici elastice și plastice.

7°. Caracteristici reologice

1°. Starea de tensiune primară

Grupa proprietăților fizico-mecanice

Pierderea stabilității are loc atît la rocile moi cit și la cele stîncose. În funcție de tipul de rocă, fenomenul de alunecare se manifestă însă diferit; la rocile moi pierderea de stabilitate se manifestă în prealabil prin o serie de deformații evidente, pe cînd la rocile stîncose se produce instantaneu. Ruperea prin forfecare se produce diferit (fig. XVI.104).

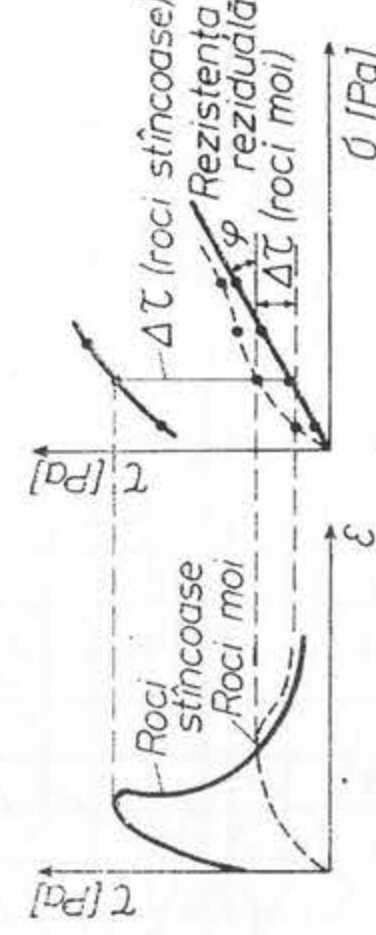


Fig. XVI.104. Ruperea prin forfecare a taluzelor.

Stabilitatea este practic controlată de rezistența reziduală $\Delta\tau = \tau_u$.

Caracteristicile menționate trebuie determinate în vederea caracterizării masivului din punct de vedere al comportamentului său la deformare, al stabilității lui ca în final să se aleagă în mod judicios cele trei elemente principale de care depinde stabilitatea taluzelor, să se facă calculul de verificare a stabilității.

Calculul taluzelor apelează în primul rînd la starea de tensiune primară a masivului și ca urmare, estimarea acestei stări se impune a fi realizată înaintea oricărui calcul de proiectare. Cea mai recentă metodă de analiză a stării de tensiune (primare sau secundare) este „metoda elementului finit” (MEF). Tehnica MEF folosește modelul matematic al mediului continuu constituit dintr-un număr mare de elemente interconectate prin noduri (fig. XVI.105). Modelul este

Comportamentul la deformare a masivului

2°. Starea de tensiune secundară

$$u = \begin{cases} u_x \\ u_y \end{cases}; u_x = a_0 + a_1x + a_2y; u_y = b_0 + b_1x + b_2y.$$

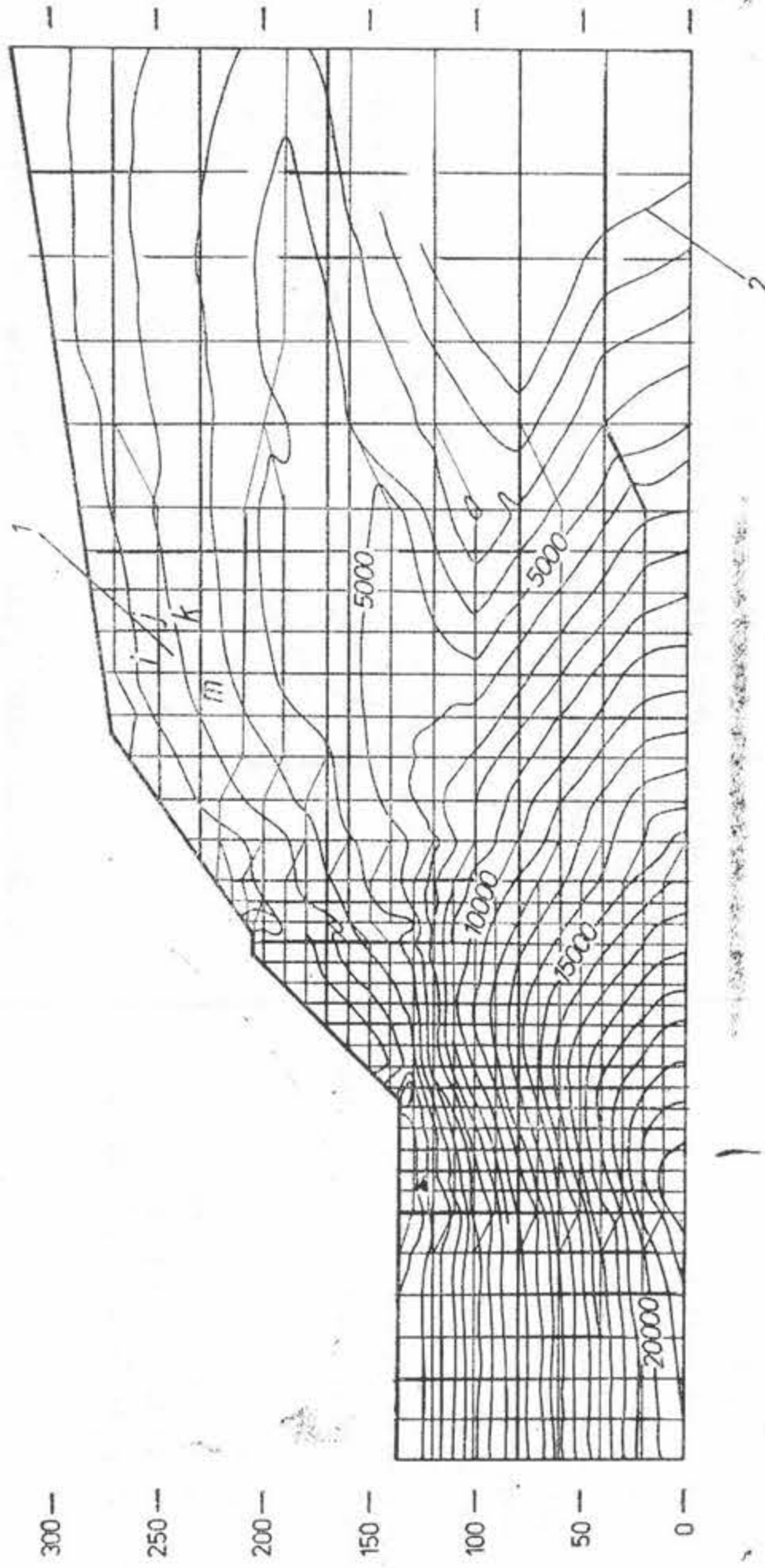


Fig. XVI.105. Metoda elementului finit (MEF) aplicată taluzelor.

o ecuație de echilibru obținută prin liniarizarea ecuațiilor de deplasare date de teoria elasticității. Din cauză că fiecare element poate avea proprietăți diferite, un asemenea model este recomandat pentru structuri complexe — roca sau masivul. Procedul se realizează numai cu ajutorul calculatorului cu posibilități mari de înmagazinare a datelor. Pentru un element triunghiular unidimensional deplasarea u a unui nod al elementului este:

Grupe factorilor de factură geometrică și tehnologică

1°. Elementele geometrice ale taluzului (forma, panta și înălțimea taluzului).

2°. Tipul de taluz sau durată acestuia

3°. Existența suprasarcinilor (utilajele de excavație, mijloace de transport etc.).

4°. Prezența bermelor

Relațiile între deformări, tensiunea de forfecare și expresiile de deplasare ale lui Havier:

$$\{F\} = [L]\{\varepsilon\}; \{\varepsilon\} = [I_1]\{u\}; \{\tau\} = [I_2]\{\varepsilon\};$$

$$\{F\} = [I_3]\{\tau\} \text{ unde: } [L] = L_{ij} = [I_3][I_2][I_1], \text{ care}$$

se liniarizează prin înlocuirea operatorului diferențial $[I_1]$ cu operatorul algebric liniar $[I_1]$. Deci: $\{\varepsilon\} = [I_1]\{u\}$.

Stabilitatea taluzelor depinde de elementele lui geometrice, fig. XVI.106 (de exemplu pentru un $\theta = 60-70^\circ$ probabilitatea de cedare a taluzului este foarte mare) de durată talu-

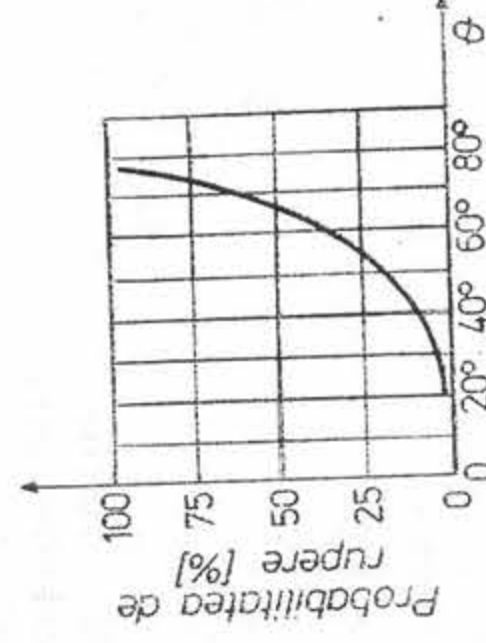
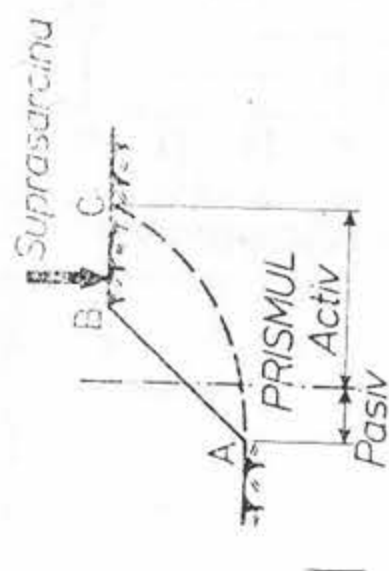


Fig. XVI.106. Dependenta stabilității taluzelor de elementele sale geometrice — valoarea unghiului θ .

zului (tabelul XVI.33), de tehnologia curentă de extragere (tabelul XVI.34). Elementele geometrice, unghiul și înălțimea taluzului care asigură o deplină stabilitate trebuie să fie evaluate și pe considerentul siguranței și a condițiilor de exploatare (omogenitatea grosimii rocilor sterile și a utilului din fiecare treaptă; bermele amplasate pe formațiuni rezistente; o bună folosire a utilajului, concordanța parametrilor lor cu

dimensiunile frontului, extragerea treptei pe întreaga înălțime etc.), tabelul XVI.34. Taluzele suportă o gamă mare de suprasarcini, (fig. XVI.107) care trebuiesc estimate în prealabil printr-o fructuoasă colaborare inginer-minier-cercetător-proiectant. Bermele sînt mijloace constructive care ne stau la îndemînă pentru creșterea rezervei de stabilitate a taluzelor (fig. XVI.108), deoarece fiecare treaptă are panta θ_0 sau



5^o Procedul de extragere cu explozivi (cantitatea de exploziv, monografia de perforare-împușcare).

Grupa factorilor de factură geometrică și tehnologică

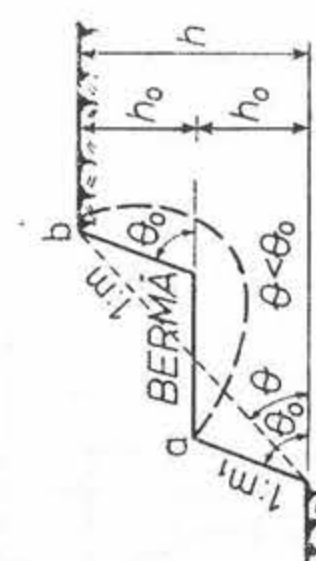


Fig. XVI.107. Acțiunea sarcinilor exterioare asupra taluzului.
Fig. XVI.108. Bermele ca mijloace de creștere a rezervei de stabilitate a taluzelor.

(1: m_0) panta medie a taluzului prevăzut cu berme fiind mai mică decât panta treptei ($\theta < \theta_0$) rezerva de stabilitate este mai mare; mai mult, creșterea aceasta este datorată și faptului că aceste berme cad întotdeauna în prismul pasiv și ca urmare acțiunea masei Q de rocă devine favorabilă stabilității. Șocul exploziilor reduce rezistența rocii pînă la pierderea stabilității, prin fisurile create pînă la circa 20–50 m în interiorul masivului.

Unghiul de taluz funcție de durata lui de existență

Tipul și natura rocii	Valoarea maximă a unghiului de taluz e_{max} [grade]	
	Taluz de scurtă durată	Taluz de lungă durată
Roci magmatice și metamorfice omogene	80–90	55–65
Roci magmatice obișnuite	70–80	
Roci sedimentare monolitice	50–60	50–55
Roci metamorfice de tipul șisturilor cristaline; roci sedimentare: gresii și grezoase	40–50	—
Roci sedimentare: argile, marne, marne argiloase, argile-nisipoase, argile-marnoase	35–45	25–45 în funcție de umiditate

Valori ale înălțimii treptelor întâlnite în practica curentă

Tipul și natura rocii	Procedee-tehnici de extragere	Înălțimea treptelor-taluzelor h [m]
Roci aluvionare clastice și cu coeziune foarte mică	Extragere manuală	4
Roci de tărie medie și mare	Prin perforare-împușcare și încărcare cu excavatoare	20–30
	Prin împușcări masive (încărcături concentrate, găuri de sondă, camere de minare) sau utilaje mecanice de tăiere	25–60
Roci eruptive de tărie foarte mare	Prin perforare și împușcări masive	nelimitată

4.2. FORMA SUPRAFEȚELOR DE RUPERE ȘI PROCEDEE DE CALCUL ALE ACESTORA

Pierderea stabilității taluzelor se finalizează prin ruperea acestora. Ruperea este prezentată diferit și în multe moduri. În baza situațiilor celor mai frecvente, întâlnite practic în exploatarea la zi, prezentările modului de rupere redată de literatură pot fi încadrate sinoptic în următoarele tipuri:

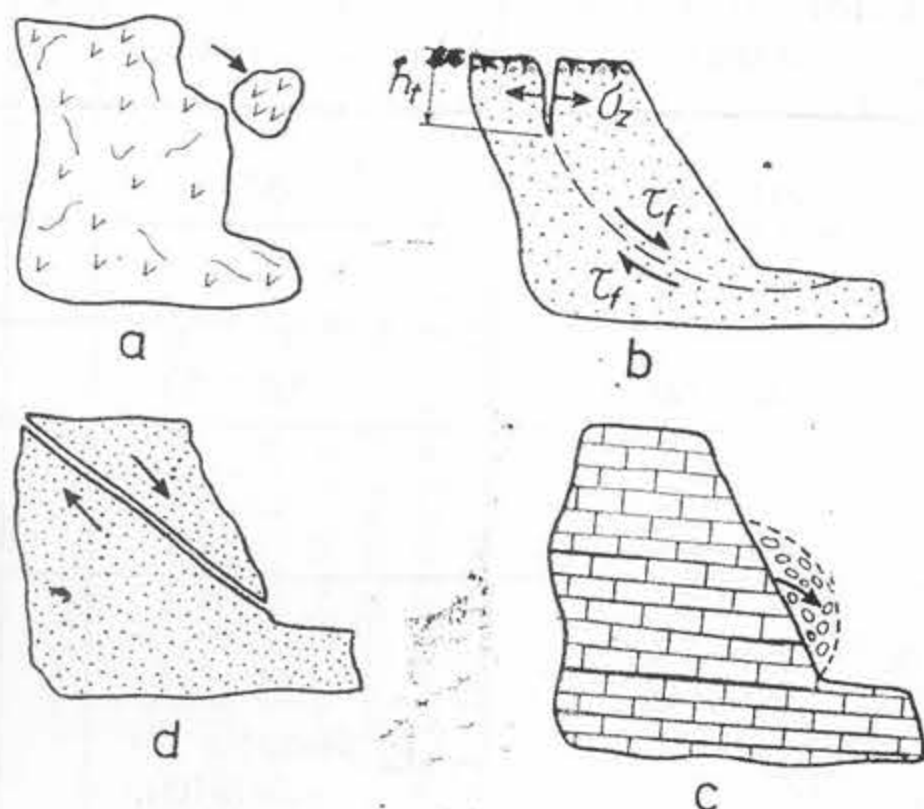


Fig. XVI.109. Tipuri de rupere a taluzelor.

1) căderi de blocuri (fig. XVI.109, a), caracteristic rocilor foarte fisurate, care în realitate sînt constituite din blocuri slab legate între ele și care în cazul cînd panta taluzului este mai mare decît unghiul de echilibru natural al blocurilor, acestea se vor desprinde. Cauza unor asemenea desprinderi este reducerea coeziunii dintre blocuri în urma acțiunii agenților atmosferici;

2) alunecări pe suprafețe curbe (fig. XVI.109, b), caz în care ruperea se produce prin rotirea mai mare de rocă de-a lungul unei suprafețe curbe de o anumită formă (cilindrică, poligonală). Cauza unor astfel de ruperi este neconcordanța între geometria taluzului și rezistența de rupere la forfecare, care conduce la concentrări de tensiune secundară apreciable, ce implică modificări neelastice în masivul de rocă;

3) desprinderi de blocuri, caracteristic rocilor uniforme, tari, neafectate de micro și macro fisuri ce ar permite ruperi plane. Ruperea în acest caz se produce prin fragmentarea rocii în punctele taluzelor unde apar concentrări maxime de tensiune și pierderi locale ale coeziunii. Un asemenea tip de rupere se produce fără o mișcare de volum de rocă și zonele incipiente de rupere nu pot fi stabilite decît numai prin cunoașterea stării secundare de tensiune și a concentrărilor acesteia;

4) ruperea plană după suprafețe geologice de minimă rezistență (fig. XVI.109, d și c).

4.3. CALCULUL STABILITĂȚII TALUZELOR

Atunci cînd pierderea stabilității taluzelor are loc prin fenomenul de alunecare în lungul unor suprafețe nete de rupere se aplică o serie de metode, mai simple sau mai complexe, care analizează echilibrul maselor de rocă elastică sau slab coezivă (nisipuri, grohotișuri, roci argilose, pămînturi etc.) situate deasupra suprafeței de rupere.

În marea lor majoritate, metodele folosite în prezent în proiectare consideră suprafața de rupere ca avînd o formă plană și circular-cilindrică. Metodele simple stabilesc condițiile generale de echilibru ale taluzelor. Ele sînt bazate pe schematizări accentuate ale fenomenelor complexe de pierdere a stabilității. Cu toate acestea, asemenea metode permit evidențierea factorilor principali care condiționează apariția și dezvoltarea procesului de pierdere a stabilității.

4.3.1. STABILITATEA TALUZELOR EXECUTATE ÎN MASIVE DE ROCĂ CLASTICĂ

Se consideră un taluz executat într-un masiv de rocă elastică, caracterizat de $c = 0$ și $\varphi \neq 0$ (fig. XVI.110) și o particulă M de rocă, pe suprafața AB a acestui taluz, a cărei greutate este G . Asupra particulei acționează forțele T și T' (fig. XVI.110 a). Dacă taluzul este stabil, unghiul de taluz θ a fost ales în mod corespunzător atunci particula M va fi în echilibru. Condiția de echilibru limitată poate fi redată sub forma:

$$T = T' \quad (4.1)$$

unde: $T = G \sin \theta$ ca și componentă a greutății particulei și care tinde să dezechilibreze particula; $T' = N \cdot f = N \cdot \tan \varphi = G \cos \theta \tan \varphi$ ca și forța de frecare ce se opune dezechilibrării; φ este unghiul de frecare interioară, iar $f = \tan \varphi$ coeficient de frecare.

Înlocuind în relația (4.1) expresiile celor două forțe se obține: $\tan \varphi = \tan \theta$, adică: $\theta = \varphi$.

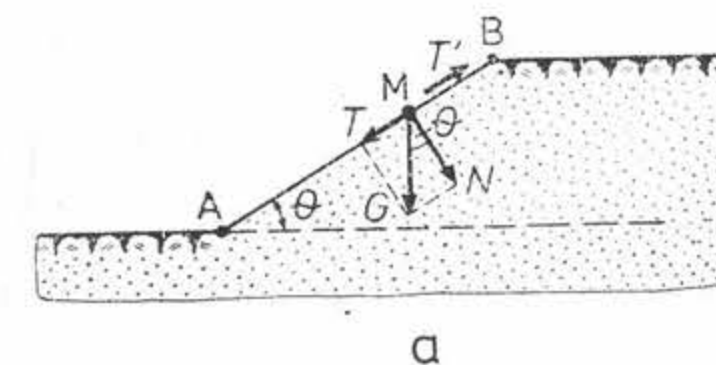
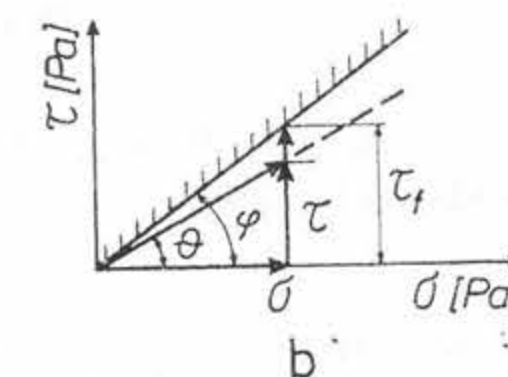


Fig. XVI.110. Taluz executat în roci clastice.



Plecînd de la expresiile eforturilor $\sigma = \frac{G}{A} \cos \theta$ și $\tau = \frac{G}{A} \sin \theta$ rezultă expresia unghiului de deviere (fig. XVI.110, b):

$$\tan \beta = \frac{\tau}{\sigma} = \tan \theta \quad (4.2)$$

și $\theta = \beta$, adică unghiul de deviere este egal cu cel al taluzului $\theta = \beta$. Conform definiției factorului de stabilire (F_s) sau a coeficientului de siguranță, η rezultă că:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\frac{\tau_f}{\sigma}}{\frac{\tau}{\sigma}} = \frac{\text{tg } \varphi}{\text{tg } \theta} \quad (4.3)$$

La limită $T = T'$, adică $\theta = \beta$ și $F = 1$, rezultă că panta maximă a unui taluz stabil într-un masiv de rocă elastică nu depinde decât de unghiul de frecare interioară φ , adică: $\text{tg } \theta_{\text{critic}} = \text{tg } \theta_{\text{max}} = \text{tg } \varphi$ și $\theta_{\text{critic}} = \theta_{\text{max}} = \varphi$ unde θ_{critic} este unghiul critic al taluzelor executate în roci elastice.

4.3.2. STABILITATEA TALUZELOR EXECUTATE ÎN MASIVE DE ROCĂ SLAB COEZIVĂ ȘI CU COEZIUNE MICĂ

În această situație (fig. XVI.111) roca este caracterizată prin $c \neq 0$ și $\varphi \neq 0$, iar ruperea se presupune că se realizează în conformitate cu ipoteza lui Coulomb, adică:

$\tau = c + \sigma \text{tg } \varphi$. Plecînd de la condiția de echilibru limită (4.1) în contextul că $\frac{T'}{A} = \frac{\tau_f}{\sigma}$ și $T = N \text{tg } \theta$ sau $\tau_f = \text{tg } \theta$, conform ipotezei de rupere considerate, rezultă după împărțire cu A (suprafața de alunecare) că:

$$\tau = \tau_f$$

adică:

$$\text{tg } \theta = \left(\text{tg } \varphi + \frac{c}{\sigma} \right) \quad (4.4)$$

Dar cunoscînd definiția unghiului de tăiere ψ (fig. XVI.111) ea fiind:

$$\text{tg } \psi = \left(\text{tg } \varphi + \frac{c}{\sigma} \right) \quad (4.5)$$

rezultă că: $\text{tg } \theta = \text{tg } \psi$ și $\theta = \psi$. Pentru masa de rocă de pe suprafața taluzului AB , factorul de stabilitate este:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\text{tg } \psi}{\text{tg } \theta} = \frac{\text{tg } \varphi + \frac{c}{\sigma}}{\text{tg } \theta} \quad (4.6)$$

Admițînd ipoteza că la limită efortul normal se transmite hidrostatic, $\sigma = \gamma_a \cdot H$, atunci factorul de stabilitate devine:

$$F_s = \frac{\text{tg } \varphi + \frac{c}{\gamma_a H}}{\text{tg } \theta} \quad (4.7)$$

iar panta taluzului în punctul considerat:

$$\text{tg } \theta = \frac{dz}{dx} = \frac{1}{F_s} \left(\text{tg } \varphi + \frac{c}{\gamma_a \cdot h} \right) \quad (4.8)$$

expresie ce evidențiază factorii care condiționează stabilitatea taluzului și că valoarea unghiului de taluz este o variabilă în funcție de stabilitate și înălțimea taluzului h .

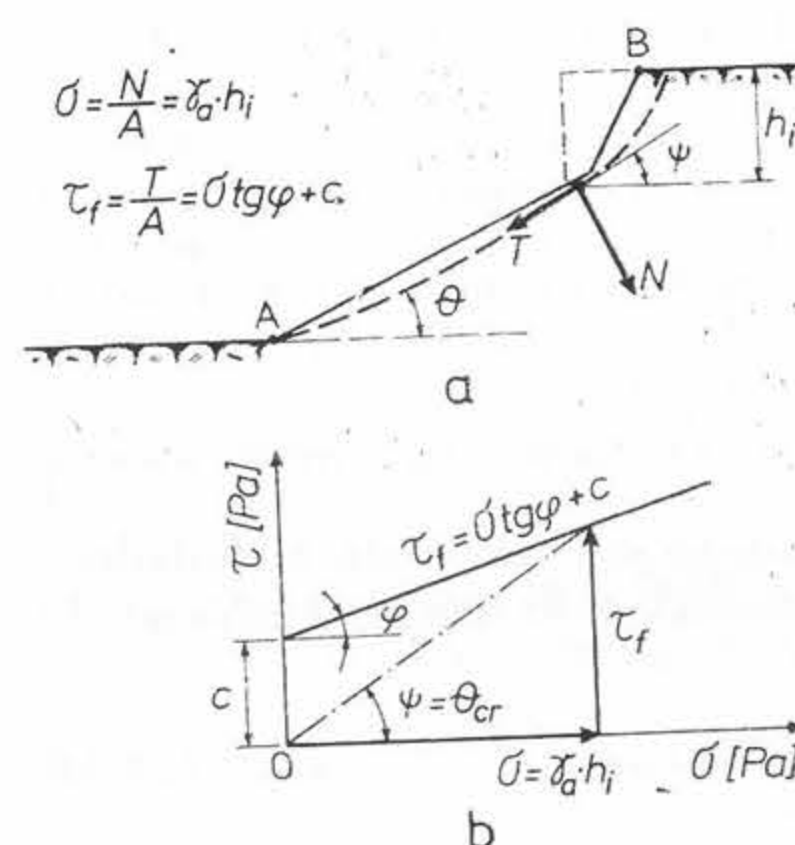


Fig. XVI.111. Taluz executat în roci slab coezive și cu coeziune mică.

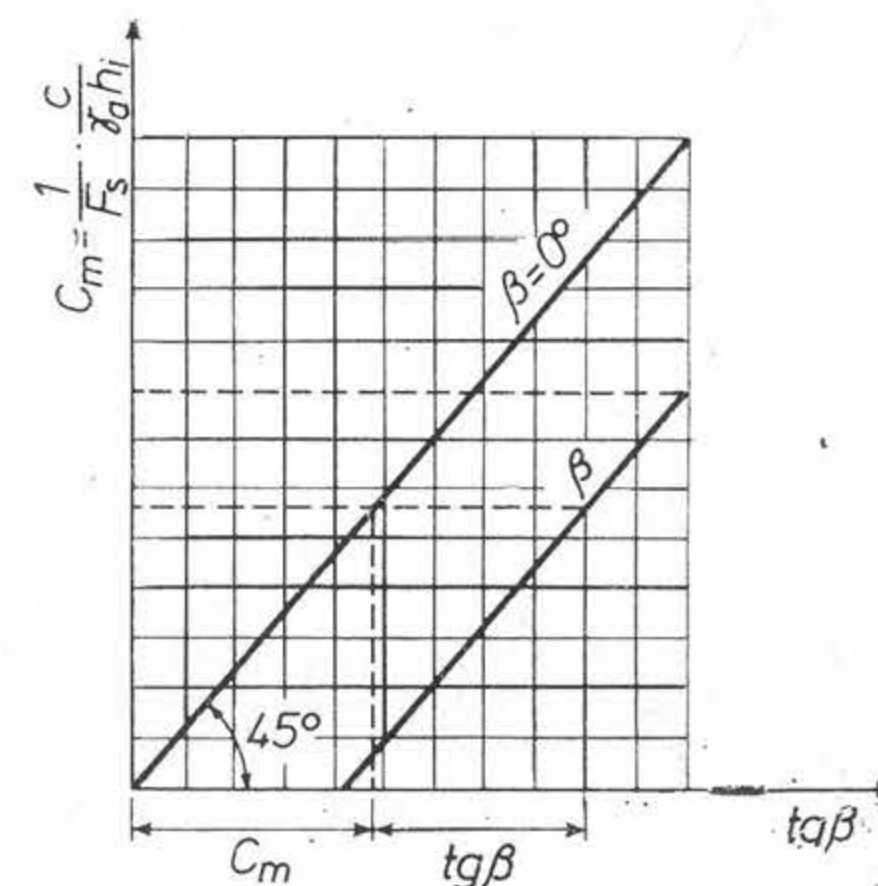


Fig. XVI.112. Abaca expresiei $\text{tg } \beta = \text{tg } \varphi + C_m$

Dacă se notează cu C_s coeficientul de stabilitate ca fiind egal cu expresia adimensională (parametru fundamental care influențează stabilitatea taluzelor în roci coezive):

$$C_s = \frac{c}{\gamma_a h} \text{ rezultă că: } \text{tg } \theta = \frac{1}{F_s} (\text{tg } \varphi + C_s) \text{ sau dacă: } \text{tg } \beta = \frac{\text{tg } \varphi}{F_s} \text{ și } C_m =$$

$\frac{C_s}{F_s}$ atunci: $\text{tg } \theta = \text{tg } \beta + C_m$, expresie care se pretează la reprezentarea grafică sub forma unei abace (fig. XVI.112) ce permite determinarea unuia din termeni, cunoscînd pe ceilalți doi. De exemplu, în cazul proiectării se cunosc: parametrii c și φ ; greutatea specifică aparentă γ_a , înălțimea taluzului h , se alege un factor de stabilitate $F_s = 1,1$; $1,2$ și se determină panta necesară admisă θ a taluzului; în cazul verificării unui taluz existent se cunosc: θ ; c ; φ ; γ_a și se determină factorul de stabilitate F_s . Din ecuația diferențială (4.8), prin integrare, se obține ecuația curbei taluzului stabil pentru cazul rocilor slab coezive și cu coeziune mică de tipul pămînturilor și a rocilor argiloase

$$x = \frac{F_s}{\text{tg } \varphi} \left[h - \frac{c}{\gamma_a \text{tg } \varphi} \ln \left(h + \frac{c}{\gamma_a \text{tg } \varphi} \right) \right] \quad (4.9)$$

care la partea superioară a taluzului are alura unei linii drepte verticale, deci pentru: $h = 0$; $\frac{dh}{dx} = \infty$ și $\theta = 90^\circ$. Practic această curbă se circumscrie unui contur poligonal format din o înălțuire de drepte pe înălțimi limitate (v. fig. XVI.111) mai ales în cazul masivelor sedimentare — stratificate.

4.3.3. STABILITATEA TALUZELOR AFECTATE DE PREZENȚA PÎNZELOR ACVIFERE ÎN MASIVUL DE ROCĂ ÎN CARE SÎNT EXECUTATE

În cazul în care taluzul, executat într-un masiv de rocă clastică sau slab coezivă de tipul pământurilor sau a rocilor argiloase, este străbătut de o pînză acviferă, aceasta va influența condițiile de stabilitate. Fie un astfel de taluz (fig. XVI.113) străbătut de linia de curent de apă subterană și care devin tangente la suprafața taluzului (adică $i = \sin \theta$), adică suprafața apei coincide cu suprafața taluzului AB . În acest caz eforturile pe planele paralele cu suprafața taluzului A vor fi:

$\sigma = \gamma_{a \text{ sat.}} \cdot h \cos^2 \theta$; $\tau = \gamma_{a \text{ sat.}} \cdot h \sin^2 \theta$; $u = \gamma_w \overline{AB} \cos \theta = \gamma_w h \cos^2 \theta$ unde u este presiunea apei din porii rocii.

În cazul rocilor clastice, deci $c = 0$, condiția Coulomb sau rezistența la forfecare-tăiere devine $\tau_f = (\sigma - u) \tan \varphi$; deci $\tau_f = (\gamma_{a \text{ sat.}} \cdot h \cos^2 \theta - \gamma_w \cos^2 \theta) \tan \varphi$, iar $\tau = \gamma_{a \text{ sat.}} \cdot h \cdot \sin \theta \cos \theta$ și la limită $\tau = \tau_f$, adică:

$$\tan \theta_{\text{critic}} = \tan \theta_{\text{max}} = \frac{\gamma_{a \text{ sat.}} - \gamma_w}{\gamma_{a \text{ sat.}}} \tan \varphi \quad (4.10)$$

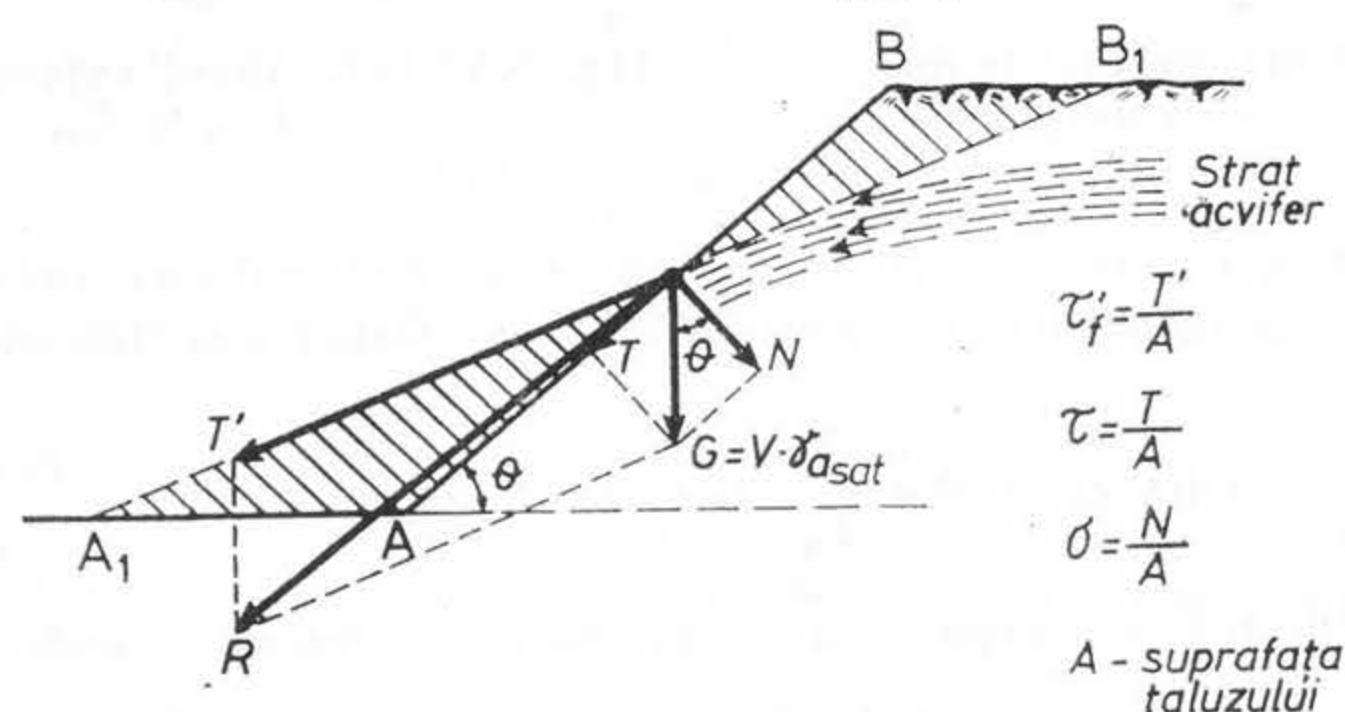


Fig. XVI.113. Taluz afectat de prezența pînzelor acvifere.

Deci prin prezența apei, panta taluzului stabil se reduce, de exemplu dacă $\theta = 45^\circ$ și $\gamma_{a \text{ sat.}} = 2,7 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$ atunci $\theta = 32,4^\circ$. În cazul rocilor slab coezive sau cu coeziune mică ($c = 0$ și $\varphi \neq 0$) expresia unghiului de taluz va fi dedusă în mod asemănător sub forma:

$$\tan \theta_{\text{critic}} = \tan \theta_{\text{max}} = \frac{c}{h \cdot \gamma_a \cos^2 \theta_{cr}} + \frac{\gamma_{a \text{ sat.}} - \gamma_w}{\gamma_{a \text{ sat.}}} \tan \varphi \quad (4.11)$$

și:

$$\frac{c}{\gamma_a h} \cos^2 \theta_{cr.} (\tan \theta_{\text{critic}} - \frac{\gamma_{a \text{ sat.}} - \gamma_w}{\gamma_{a \text{ sat.}}} \tan \varphi) \quad (4.12)$$

Condiția de echilibru devine: $T'' = T' + T$

$$\text{unde: } T'' = \frac{N'' \tan \psi}{F_s} = \frac{V \cdot \gamma_{a \text{ sat.}} \tan \psi}{F_s} \cos \theta; \quad T = V \cdot \gamma_{a \text{ sat.}} \sin \theta; \quad N = V \cdot \gamma_{a \text{ sat.}} \cos \theta;$$

$$T' = V \cdot \gamma_w \sin \theta,$$

în care: $\gamma_{a \text{ sat.}}$ este greutatea specifică aparentă a rocii submersate sau saturate; V — volumul particulei de rocă considerate; i — panta hidrolică sau gradientul hidrolic. Deci:

$$\frac{V \cdot \gamma_{a \text{ sat.}} \tan \psi}{F_s} \cos \theta = V(\gamma_{a \text{ sat.}} + \gamma_w) \sin \theta \quad (4.13)$$

sau:

$$\tan \theta = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{\gamma_{a \text{ sat.}}}{\gamma_{a \text{ sat.}} + \gamma_w} \tan \psi = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{\gamma_{a \text{ sat.}}}{\gamma_{a \text{ sat.}} + \gamma_{\text{sat}}} (\tan \varphi + C_s) \quad (4.14)$$

iar dacă $\gamma_{a \text{ sat.}} = \gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ atunci:

$$\tan \theta = \frac{1}{2F_s} (\tan \varphi + C_s) \quad (4.15)$$

Pe lângă efectul hidrodinamic care reduce panta taluzului stabil la jumătate, prezența apei conduce și la micșorarea efortului efectiv, modificând expresia coeficientului de stabilitate C_s adică:

$$C_s = \frac{c}{\sigma'} = \frac{c}{\sigma - u} = \frac{c}{\gamma_a h - u} = \frac{c}{\gamma_a h (1 - f_u)} \quad (4.16)$$

unde: f_u este factorul presiunii apei în pori (u) adică $u = f_u \gamma_a h$

4.3.4. METODE APROXIMATIVE

Metodele aproximative de analiză a stabilității taluzelor de roci slabe se bazează în principal pe observațiile asupra ruperii taluzelor. Astfel, toate observațiile efectuate asupra pierderii stabilității taluzelor executate în roci cu coeziune slabă și coeziune mică au arătat că ruperea se produce de obicei pe suprafețe curbe ce pot fi asimilate cu suprafețe cilindrice circulare. Ca urmare, stabilitatea taluzelor poate fi analizată și prin determinarea celei mai critice suprafețe de rupere într-o secțiune transversală

a taluzului. Grupa acestor metode își găsește aplicabilitate numai în cazul rocilor suficient de plastice, în cazul rocilor din grupa celor ductile la care de fapt efortul mediu de forfecare constituie factorul important ce condiționează ruperea.

Se consideră o asemenea suprafață de rupere (fig. XVI.114, a). Momentul de rupere M_r este momentul greutateii segmentului G față de centrul O adică $G \cdot x$. Momentul de stabilitate M_s este produsul dintre rezistența la forfecare τ_f a rocii, de-a lungul suprafeței de rupere, lungimea arcului L și raza cercului R considerat.

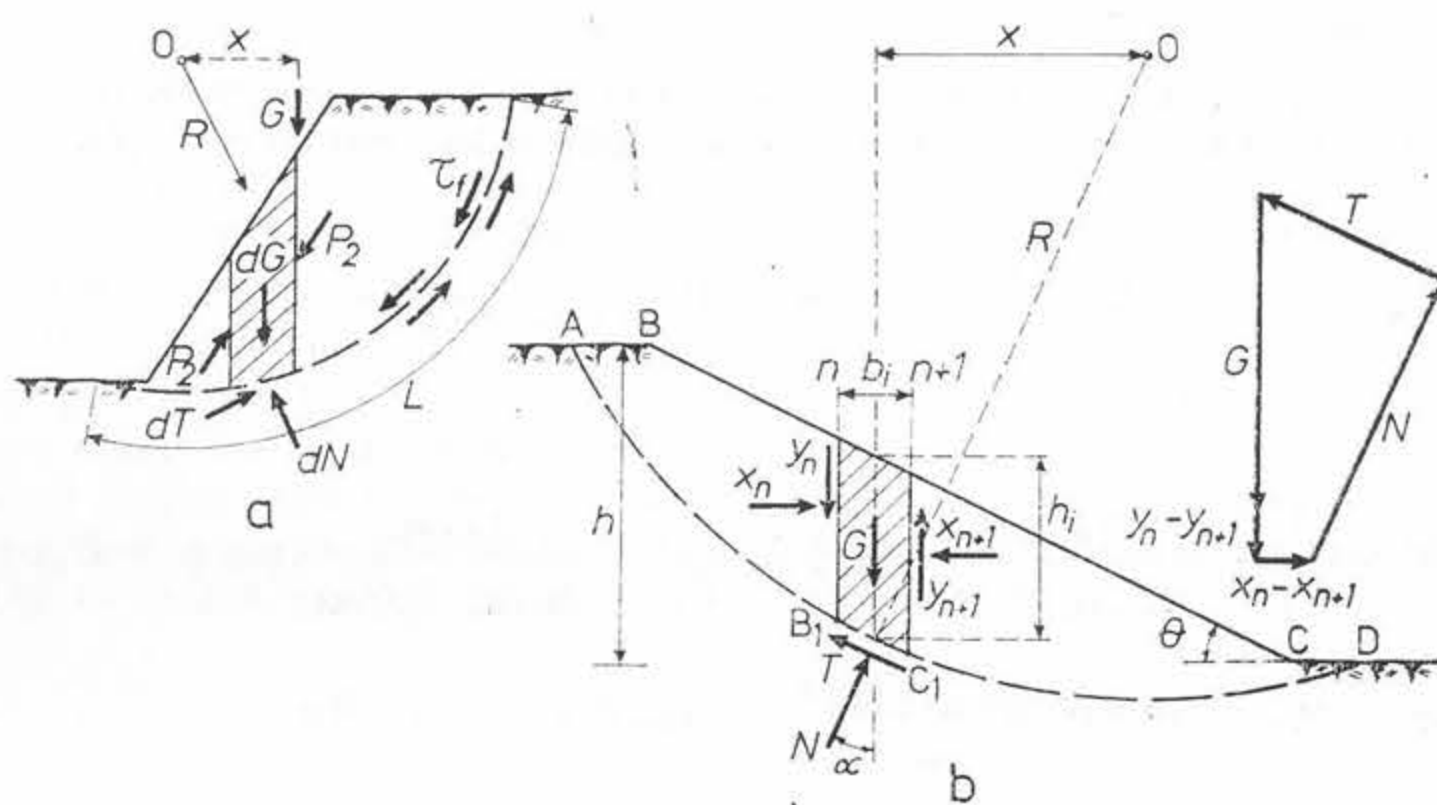


Fig. XVI.114. Principiul de calcul al stabilității taluzelor prin metoda aproximativă (procedeul fișiiilor).

În situația considerată, rezistența la forfecare τ_f variază în lungul arcului de cerc, datorită variației efortului unitar normal σ și, ca urmare, arcu de cerc se împarte într-o serie de fișii verticale de lățimi limitate b_i și înălțimi medii h_i (fig. XVI.114, b). O asemenea fișie este supusă acțiunii următoarelor forțe: 1) greutatea fișiei $dG = \gamma_a h \cdot b = \gamma_a h' \cos \alpha$; 2) componenta normală a reacțiunii pe suprafața ipotetică de rupere dN sau, în cazul existenței și a unei pinze acvifere, forța efectivă intergranulară va fi $dN_1 = dN - U$, unde $U = u \cdot l$ sau $U = f_u \cdot \gamma_a h$; 3) componenta tangențială a reacțiunii pe suprafața ipotetică de rupere dT ; 4) cele două forțe care acționează pe fețele laterale ale fișiei considerate P_1 și respectiv P_2 (fig. XVI.114, a) și care sînt de fapt nedeterminate.

Cu referire la aceste forțe există o serie de ipoteze simplificatoare. Astfel Kne y le consideră egale și de sens opus, ceea ce simplifică poligonul forțelor (fig. XVI.114, b); Bishop presupune o echilibrare numai a componentelor verticale (fig. XVI.114, b); Spencer consideră că forțele P_1 și P_2 au același suport dar mărimi diferite etc. Astăzi calcularea acestor forțe poate fi realizată prin intermediul calculatoarelor electronice. Literatura de specialitate oferă o serie de metode și metodologii atît clasice cît și bazate pe procedee numerice de calcul. Se precizează că neglijarea de la început a acestor forțe nu conduce decît la o eroare de cel mult 10%, fapt acceptabil din punct de vedere practic.

La echilibru: $M_r = M_s$ adică: $\sum dT \cdot R = \sum (dN \tan \varphi + c \cdot l) R$, iar coeficientului de siguranță va fi:

$$\eta = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum (dT)}{\sum (dN \tan \varphi + c \cdot l)} \quad (4.17)$$

și el se confundă cu F_s în ipoteza că $F_s = \text{constant}$ pentru toate criteriile. Deci:

$$\eta = F_s = \frac{\tau}{\tau_f} \quad (4.18)$$

și poate fi exprimat în funcție de coeziune:

$$\eta = \frac{F_s c}{\gamma_a h} \quad (4.19)$$

Grupa acestor metode neglijează cea de a treia dimensiune, adică rezistența capetelor segmentului cilindric de rupere. Ca urmare a acestui fapt, indiferent de modul cum sînt determinați parametrii considerați în calcule (în situ sau laborator), rezultatele obținute sînt mai mari decît cele reale. Calea de laborator însă conduce la dimensionări prea acoperitoare. Din analiza acestui tip de metode rezultă că valoarea critică a unghiului de taluz sau maximă este funcție de următorii parametri adimensionali:

$$\theta_{critic} = \theta_{max} = F \left(\frac{c}{\gamma_a h}; \frac{q}{\gamma_a h}; \frac{dl_f \varphi}{h}; \frac{dz_f}{h}; \varphi \right) \quad (4.20)$$

(fig. XVI.115) unde dl_f este adîncimea pinzei acvifere; dz_f — adîncimea de fisurare față de berma taluzului; q — supraîncărcarea bermei taluzului ca sarcină uniform repartizată.

Deoarece de multe ori suprafața de rupere diferă sensibil de una circular cilindrică (cazul rocilor neomogene, a rocilor cu intercalații mai slabe produs al alterărilor etc.), s-au elaborat metode în care suprafața de alunecare are o formă oarecare — poligonală. Asemenea metode analizează din aproape în aproape, prin calcule laborioase,

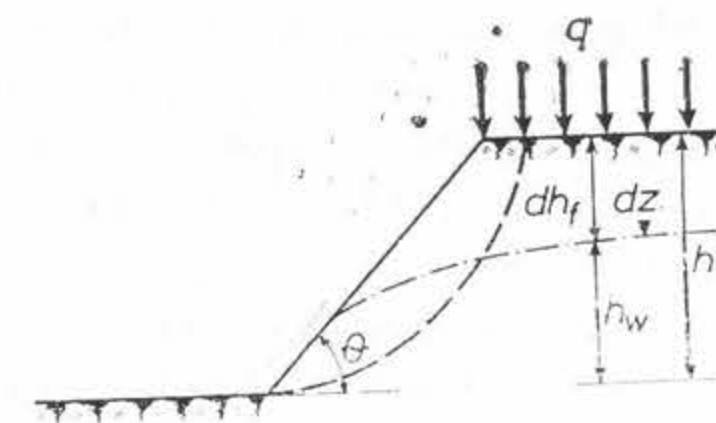


Fig. XVI.115. Valoarea critică a unghiului θ și factorii ce o influențează.

pină la obținerea unui factor de stabilitate minim, căruia îi corespunde suprafața de alunecare critică. Cînd $F_s = 1$ suprafața corespunzătoare este cea reală sau de alunecare potențială. Metodele se pretează la utilizarea calculatoarelor. În ultimii ani se remarcă

tendința de a folosi la calculul stabilității taluzelor principiile variaționale. În acest context s-a plecat de la ideea de a stabili prin calcul forma suprafeței de rupere $y(x)$ pentru un profil dat al terenului; $f(x)$ rezultă din condiția că funcționalul reprezentat prin factorul de stabilitate F_s să fie minim, adică:

$$F_s = \frac{\sum \int F_i(x; y; y') dx}{\sum \int G_i(x; y; y') dx} \quad (4.21)$$

Asemenea metode au avantajul că elimină necesitatea de a verifica mai multe suprafețe potențiale de rupere.

4.4. MĂSURI DE PREVENIRE ȘI CONTROL ÎN CAZUL EXECUTĂRII TALUZELOR

Cu toate aspectele considerate în faza de proiectare, pentru asigurarea stabilității taluzelor se impun și în continuare, în faza de verificare a proiectului de execuție și de exploatare, să fie luate o serie de măsuri de prevenire și control a ruperii acestor lucrări. În general, pierderea stabilității și ruperea taluzelor este o consecință a creșterii stării secundare de tensiune și a reducerii rezistenței rocii. Prin urmare, se impune luarea de măsuri pentru evitarea acestor efecte.

Astfel, adoptarea cu strictețe a unghiurilor de taluz proiectate și urmărirea să nu se mărească în timp asemenea pante, mai ales când la baza taluzului se află o rocă mai slabă și care poate fi extrasă prin excavații necorespunzătoare, ducând la subminarea taluzului.

Rezistența rocii se poate reduce sub efectul exploziilor folosite la excavare. Ca urmare, taluzul trebuie bine curățit (copturit), trebuie luate în considerare mărirea numărului de găuri de mină și reducerea cantității de exploziv pentru evitarea afinării rocii și a fisurării ei în adâncime, chiar dacă această operație poate costa mai mult.

Deteriorarea suprafeței taluzului se poate produce și prin fenomenul de îngheț-dezgheț, a acțiunii apei și aerului asupra rocii, a umflării produselor de alterare existente în fisuri. Printr-o drenare a apei de suprafață la creasta taluzului, asemenea fenomene se pot evita.

Concentrările de eforturi pot crește în urma depozitării materialului excavat pe creasta taluzelor. Depozitarea materialelor trebuie realizată pînă la o distanță, față de creasta taluzului, de circa $1/2$ din înălțimea lui.

Drenarea apei subterane constituie un factor esențial în menținerea stabilității taluzelor, cu toate că o coborîre efectivă a nivelului apei subterane în masive de rocă este foarte dificilă, atât din punct de vedere tehnic, cît și economic.

5. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA PILIERILOR DE SIGURANȚĂ ȘI PLANȘEEELOR

5.1. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

5.1.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA CALCULULUI DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

În cazul unor zăcăminte de substanțe minerale utile (sare gemă, săruri de potasiu și magneziu, minereuri de fier, gips, cretă etc.) precum și la unele zăcăminte de roci utile (calcare, marne, caolin, argile etc.) s-a aplicat și continuă să se aplice, în mod curent, *metoda de exploatare cu camere și pilieri* (definitivi sau temporari).

Odată cu dezvoltarea și modernizarea tehnicii de forare a găurilor de mină, s-a trecut la extinderea metodei de exploatare cu camere și pilieri, și la extragerea altor tipuri de zăcăminte de minereu, fiind cunoscută ca o metodă de mare producție și productivitate. Această metodă a căpătat o largă extindere în cazul claselor de metode de exploatare:

- cu goluri remanente cu extragerea în subetaje sau pe toată înălțimea etajului;
- cu înmagazinarea minereului în spațiul exploatat;
- cu surparea rocilor înconjurătoare.

Susținerea spațiului exploatat cu pilieri de siguranță (temporari sau definitivi) reprezintă unul din procedeele de dirijare a presiunii miniere cele mai simple și mai vechi aplicate în minerit.

Privită din punct de vedere tehnic, această metodă de dirijare a presiunii poate fi aplicată atunci când minereul și rocile înconjurătoare au o tărie și o stabilitate mare. De asemenea, această metodă se mai poate aplica și atunci când nu se dorește provocarea unor deplasări și surpări ale rocilor din acoperișul zăcămintului, care să afecteze terenul de la suprafață, oricare ar fi natura substanțelor minerale utile respective.

Pilierii de siguranță definitivi, cu rol de susținere a spațiului exploatat, în cadrul metodei de exploatare aplicată la extragerea, în general, a zăcămintelor de săruri și unele materiale de construcții au forme geometrice regulate și sînt, de asemenea, dispuși într-o rețea geometrică regulată.

În categoria pilierilor de siguranță definitivă mai intră și aceia necesari pentru protecția puțurilor de mină și a obiectivelor industrial-sociale și naturale de deasupra perimetrelor miniere în exploatare.

Pilierii de siguranță temporari întîlniți în cadrul metodelor de exploatare din clasele amintite, denumiți *pilieri de etaj*, se lasă deasupra, dedesubtul sau în jurul lucrărilor principale de pregătire, cu scopul de a susține atât lucrările de abataj, cît și de pregătire.

În cadrul pilierilor temporari se întîlnesc și *pilieri de bloc*, lăsați între camerele vecine și păstrați numai pe perioada exploatării etajului.

Pentru asigurarea stabilității camerelor și pentru micșorarea pierderilor mari de substanță minerală utilă, *pilierii definitivi* de susținere a camerelor trebuie să fie dimensionați. Pilierii de siguranță ai puțurilor de mină, sau ai obiectivelor de la supra-

față se trasează prin construcții geometrice, pe baza cunoașterii unghiurilor de scufundare.

Pentru stabilirea dimensiunilor optime ale pilierilor de siguranță definitiv de susținere a camerelor de exploatare se impune ca de la început să se cunoscă următoarele elemente de calcul:

— felul, mărimea și repartizarea stărilor de tensiune din interiorul pilierilor de susținere

— caracteristicile fizico-mecanice ale pilierilor de susținere;

— felul și mărimea deformărilor pe care le suferă pilierii de susținere din cauza eforturilor la care sînt supuși.

Din observațiile practice, experimentările *in-situ* și de laborator, se admite astăzi că asupra pilierilor de siguranță de susținere a camerelor de exploatare, acționează numai eforturi statice de compresiune datorite greutateii lor proprii și greutateii unei anumite părți din zăcămintul exploatat și din rocile înconjurătoare. Sarcina dezvoltată de rocile ce apasă pe pilierul de siguranță este denumită *presiune litostatică* și se datorește forțelor de gravitație.

Presiunea litostatică dă naștere în interiorul pilierilor de siguranță, de susținere, la anumite stări de tensiune a căror mărime și distribuție este funcție de forma și dimensiunile lor, caracteristicile lor geologice și petrografice și caracteristicile fizico-mecanice ale materialului din care sînt constituiți.

Se admite astăzi, în domeniul mecanicii rocilor, în care se consideră că masivul de roci se comportă ca un corp elastic, omogen și izotrop, că starea de tensiune primară se poate exprima într-un sistem de coordonate triaxiale rectangulare prin relațiile (3.1) și (3.2).

Odată cu începerea exploatării zăcămintului considerat, cu crearea camerelor și formarea pilierilor de susținere, se modifică fundamental atât mărimea, sensul și distribuția tensiunilor care acționează asupra tavanului, vetrei și pereților camerelor cît și repartizarea tensiunilor din interiorul pilierilor de susținere.

Pilierii de siguranță, de susținere a camerelor, sînt constituiți din roci ce reprezintă corpuri neomogene, anizotrope cu caracteristici geologico-petrografice diferite.

Încercările de laborator efectuate de M. S t a m a t i u în stabilirea rezistențelor mecanice ale rocilor au confirmat faptul că valorile acestora depind de forma și mărimea epruvetei încercate.

Pilierii de susținere ai camerelor vor avea, de asemenea, valori ale caracteristicilor mecanice de rezistență dependente de forma și mărimea proiectată. Felul și mărimea deformărilor pe care le suferă pilierii de susținere este rezultatul eforturilor de compresiune la care aceștia sînt supuși.

Mărimea deformărilor este funcție de modul de aproximare a comportamentului materialului constitutiv al pilierilor: elastic, elasto-plastic sau plastic. Existența în timp a pilierilor sub acțiunea solicitărilor la care sînt supuși impune, de asemenea, luarea în considerare, în stabilirea mărimilor deformărilor, a caracteristicilor reologice, în principal a fluajului rocilor din care sînt constituiți pilierii.

O clasificare a procedeelor de calcul și verificare trebuie să aibă la bază, felul, mărimea și repartizarea tensiunilor din interiorul pilierilor de susținere, în dependență cu caracteristicile mecanice. În funcție de acest criteriu, procedeele de calcul și de verificare elaborate pînă în prezent pot fi clasificate în patru grupe:

A. Procedece bazate pe ipoteza repartiției uniforme și a rezistenței constante la compresiune. În această grupă intră procedeele de calcul și verificare elaborate de Tournaire, Haton de la Goupillière, L. D. Șeviaikov.

B. Procedece bazate pe ipoteza repartiției uniforme a tensiunilor în pilieri și a rezistenței la compresiune, variabile cu forma și dimensiunea pilierilor. Sînt cuprinse, în această grupă, procedeele de verificare și calcul propuse de K. Kegel, M. Stamatiu.

C. Procedece bazate pe ipoteza repartiției neuniforme a tensiunilor, în pilieri și a parabolei de presiune. Aceste procedee aparțin autorilor M. M. Protodiakonov, S. S. Davidov, M. Stamatiu, P. M. Țimbarevici, K. V. Ruppeneit.

D. Procedece bazate pe modelarea matematică a stărilor de tensiune și deformare pe baza legilor de dependență date de mecanica corpurilor solid deformabile. În această grupă intră metodele de calcul propuse de P. M. Țimbarevici, K. V. Ruppeneit, care au la bază teoria elasticității, precum și metodele moderne actuale de modelare a tensiunilor și deformațiilor prin metoda elementelor finite.

Dintre procedeele de calcul amintite, se vor trata în continuare numai acelea care au o largă aplicabilitate și ale căror rezultate au fost confirmate de practica inginerescă.

5.1.2. PROCEDEE DE CALCUL ȘI VERIFICARE A DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

Procedeul de calcul propus de M. Stamatiu. Face parte din grupa procedeelor de calcul bazate pe ipoteza repartiției neuniforme a tensiunilor în pilieri și a parabolei de presiune, cu aplicare la exploatarea sării pe cale solidă, cu camere mici.

Autorul, în elaborarea procedurii sale de calcul, admite ipotezele lui Ritter și Coulomb referitoare la modul de repartizare a eforturilor datorite rocilor înconjurătoare asupra tavanului și pereților camerelor și anume (fig. XVI.116):

— o anumită parte din pilierul de susținere de lățime d_2 este supus unui efort de compresiune, egal cu greutatea întregii coloane de roci pînă la suprafața terenului;

— părțile din pilier, situate în apropierea pereților camerelor, sînt supuse la eforturile datorite greutateii corpurilor parabolice care se formează deasupra tavanului camerelor și care tind să producă ruperea prin alunecare a pilierului după suprafețele AE , respectiv $A'E'$ înclinate cu un unghi φ față de orizontală.

Pe baza celor arătate, lățimea pilierului de susținere se poate calcula cu relația:

$$d_1 = d_2 + 2h \operatorname{ctg} \varphi \quad (5.1)$$

în care: d_1 este lățimea stîlpului, m; h — înălțimea camerei, m.

În urma încercărilor de laborator, autorul a stabilit relația de dependență a rezistenței de rupere la compresiune, funcție de dimensiunile epruvetei încercate, de forma:

$$R'_c = R_c \sqrt{\frac{l}{h}} \quad (5.2)$$

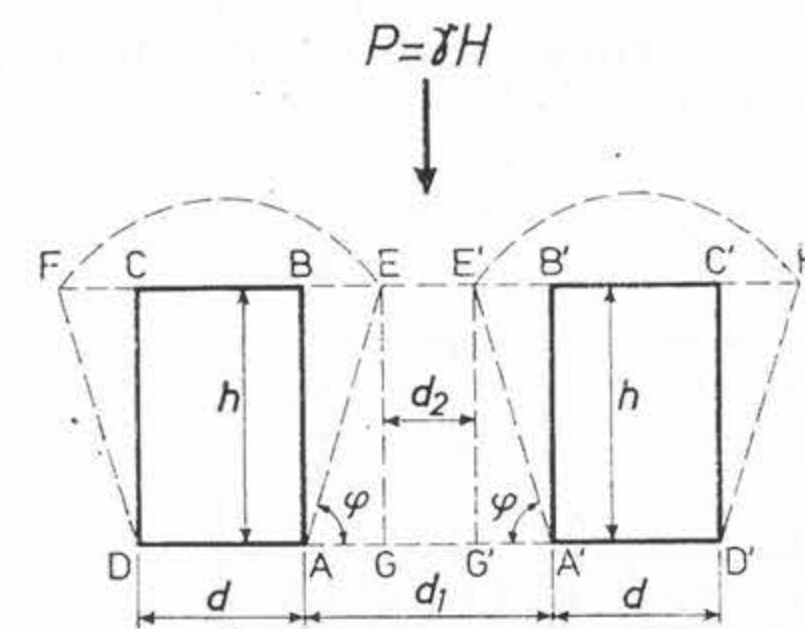


Fig. XVI.116. Schema cu elementele de calcul ale pilierilor de susținere (după M. Stamatiu).

în care: R'_c este rezistența de rupere la compresiune a prisme cu secțiune pătrată, daN/cm²;

R — rezistența de rupere la compresiune a epruvetelor în formă de cub, confecționate din același material ca și prismele, daN/cm²;

l — lățimea epruvetei, cm;

h — înălțimea epruvetei, cm.

Pilierului de susținere GEE'G, de forma unei prisme cu lățimea d_2 și înălțimea h , i se poate aplica relația (5.2).

În acest caz, condiția de rezistență este:

$$Pd_2^2 = R'd_2^2 = R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} d_2^2 \text{ sau } P = \gamma_a H \leq R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} \quad (5.3)$$

La limită se va obține:

$$\gamma_a H = R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} \text{ sau } d_2 = \frac{\gamma_a^2 H^2 h}{R_c^2} \quad (5.4)$$

Înlocuind relația (5.4) în relația (3.2) se obține:

$$d_1 = \frac{\gamma_a^2 H^2 h}{R_c^2} + 2h \operatorname{ctg} \varphi = \left(\frac{\gamma_a^2}{R_c^2} H^2 + 2 \operatorname{ctg} \varphi \right) h \quad (5.5)$$

unde: γ_a este greutatea volumetrică medie a coloanei de roci de la pilierul de susținere pînă la suprafața terenului, N/cm³; H — adîncimea de exploatare, m; φ — unghiul de frecare interioară a rocilor.

Procedul de calcul al lui L. D. Șeviaikov. Face parte din grupa procedeelor de calcul avînd la bază ipoteza repartiției uniforme a tensiunilor în pilierii de susținere și a rezistenței constante la compresiune.

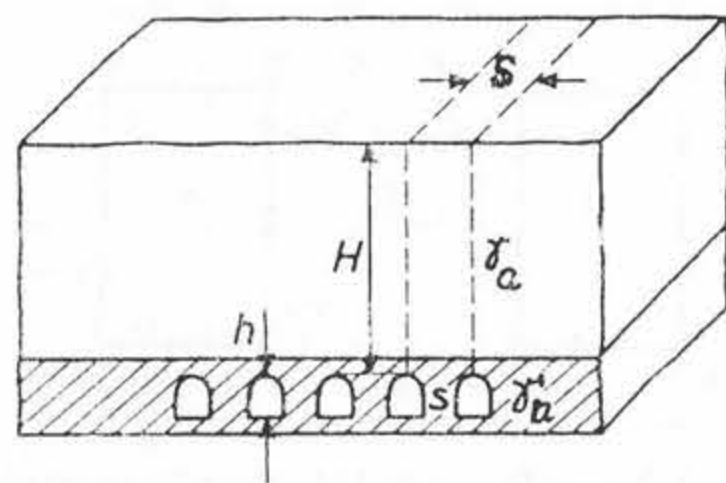


Fig. XVI.117. Schema cu elementele de calcul ale pilierilor de susținere (după L. D. Șeviaikov).

Se consideră că sarcina asupra pilierului de susținere este dată de greutatea întregii coloane de roci pînă la suprafața de la zi, iar repartizarea acestei sarcini în secțiune orizontală a pilierului este constantă.

Condiția de stabilitate a pilierului, conform schemei de calcul adoptată, este dată de relația (fig. XVI.117):

$$S \cdot H \gamma_a + s \cdot h \gamma'_a = s \frac{\sigma_c}{n} \quad (5.6)$$

în care: H este adîncimea de la suprafață pînă la partea superioară a pilierului de susținere, m;

h — înălțimea pilierului de susținere, m;

S — suprafața secțiunii orizontale a prisme de roci acoperitoare ce revine unui pilier de susținere, m²;

s — suprafața secțiunii orizontale a pilierului, în m²;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor acoperitoare, MN/m³;

γ'_a — greutatea volumetrică a materialului pilierului, MN/m³;

n — coeficient de siguranță, cu valori între 1,5—3;

σ_c — rezistența medie de rupere la compresiune a rocii din pilier, MN/m².

Din relația (5.6) se poate deduce:

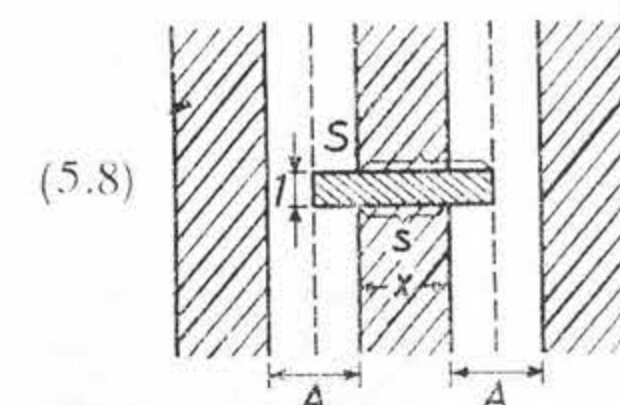
$$\frac{S}{s} = \frac{\sigma_c}{n H \gamma_a} - \frac{\gamma'_a h}{\gamma_a H} \quad (5.7)$$

În funcție de dimensiunile camerelor de exploatare proiectate, prin exprimarea geometrică a raportului S/s și înlocuirea în relația (5.7) se obțin relațiile de calcul pentru diferite forme de pilieri de susținere.

— Pilieri lungi continui (fig. XVI.118):

$$\frac{S}{s} = \frac{A + x}{x}$$

$$x = \frac{A}{\frac{\sigma_c}{n H \gamma_a} - \frac{h \gamma'_a}{H \gamma_a} - 1}$$



(5.8)

Fig. XVI. 118. Pilieri lungi continui.

— pilieri scurți cu secțiune pătrată (fig. XVI.119):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)^2}{x^2} \quad (5.9)$$

$$x = \frac{A}{\sqrt{\frac{\sigma_c}{n \cdot H \cdot \gamma_a} - \frac{h \gamma'_a}{H \gamma_a} - 1}}$$

— Pilieri scurți cu secțiune dreptunghiulară, înconjurați de camere cu lățime constantă (fig. XVI.120):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)(A + L)}{x \cdot L} \quad (5.10)$$

$$x = \frac{\frac{A^2}{L} + A}{\frac{\sigma_c}{n \cdot H \gamma_a} - \frac{h \gamma'_a}{H \gamma_a} - \frac{A}{L} - 1}$$

— Pilierei scurți cu secțiune dreptunghiulară, înconjurați de camere cu lățime diferită (fig. XVI.121):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)(B + L)}{x \cdot L}$$

$$x = \frac{A + \frac{AB}{L}}{\frac{\sigma_c}{n \cdot H \cdot \gamma_a} - \frac{h\gamma'_a}{H\gamma_a} - \frac{B}{L} - 1} \quad (5.11)$$

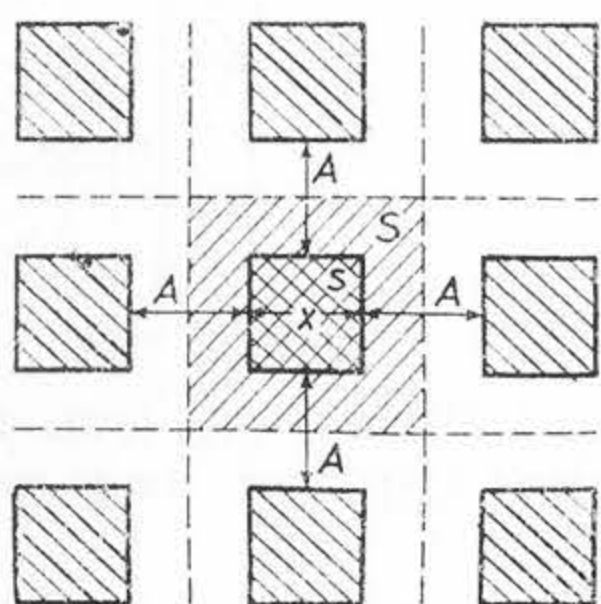


Fig. XVI.119. Pilierei scurți cu secțiune pătrată.

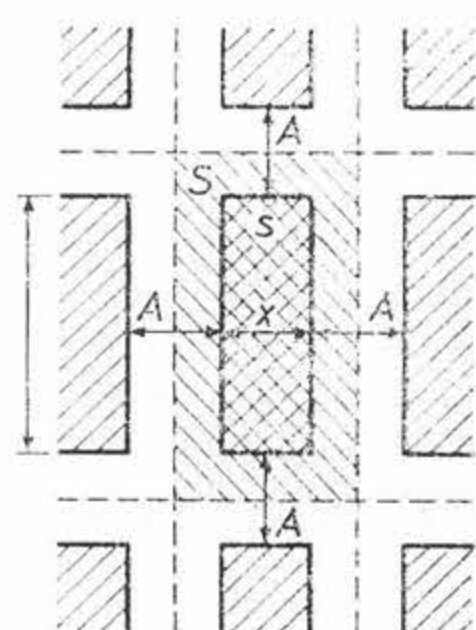


Fig. XVI.120. Pilierei dreptunghiulari, înconjurați de camere cu lățime constantă.

unde: A , B sînt dimensiunile camerelor de exploatare, m; L este lungimea camerelor de exploatare, m; x — lățimea pilierilor de susținere, m.

Relațiile stabilite mai sus de autor sînt de dimensionare, însă practic s-a demonstrat că pentru a obține rezultate corecte, se impune ca valorile σ_c și n să fie u dicios alese și să rezulte din încercări de laborator și observații practice.

Procedeeul de verificare propus de M. Stamatiu. Relația propusă de autor pentru verificarea dimensiunilor pilierilor de susținere are la bază ipoteza cercetătorului francez *Tournaire*. Se consideră, că rezistența de rupere la compresiune a pilierilor să fie mai mare, sau cel puțin egală cu sarcina de compresiune la care aceștia sînt supuși, sarcină datorită greutateii terenului acoperitor și a substanței minerale utile din planșeul de protecție superior, cum și a greutateii lor proprii (fig. XVI.122).

Din principiul de calcul enunțat mai sus, autorul a stabilit relația:

$$S\gamma_a(H - e) + S\gamma_{a1}e + s\gamma_{a1}h \leq s\sigma_c \quad (5.12)$$

în care: s este suprafața totală în secțiune orizontală a tuturor stîlpilor, egală cu: $s = m \cdot s_1$ [m²];

S — suprafața cîmpului de exploatare, m²;

s_1 — suprafața în secțiune orizontală a unui pilier, m²;

m — numărul pilierilor de aceeași formă;

H — adîncimea de la suprafață pînă la tavanul camerelor, m;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor acoperitoare, MN/m³;

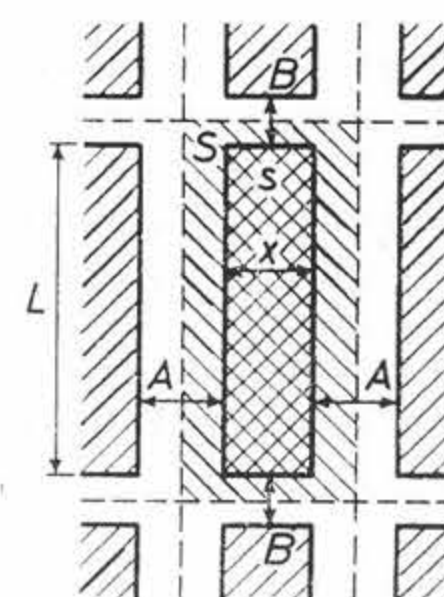


Fig. XVI.121. Pilierei dreptunghiulari, înconjurați de camere cu lățime diferită.

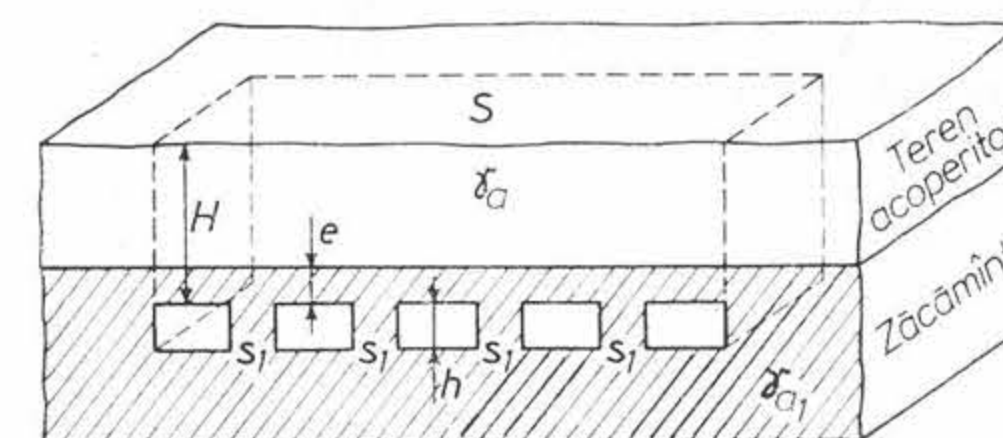


Fig. XVI.122. Schemă de calcul a pilierilor de susținere, după procedeul de verificare a lui M. Stamatiu.

γ_{a1} — greutatea volumetrică a rocii din pilier, MN/m³;

e — grosimea medie de protecție de deasupra camerelor de exploatare, m;

h — înălțimea pilierilor de susținere, m;

σ_c — rezistența medie efectivă de rupere la compresiune a rocii din pilieri, MN/m²;

n — coeficient de siguranță cu valorile 1,5—3 recomandate de autor;

Din relația (5.12) se deduce:

$$\frac{s}{S} = \frac{\gamma_a H + e(\gamma_{a1} - \gamma_a)}{\sigma_c - \gamma_{a1} h} \text{ sau } \frac{s}{S} = \frac{\gamma_a H + e(\gamma_{a1} - \gamma_a)}{\frac{\sigma_c}{n} - \gamma_{a1} h} \quad (5.13)$$

La pilierii de susținere de formă cubică sau prismatică, pentru determinarea valorii lui σ_c , autorul recomandă, pe baza a numeroase încercări de laborator, folosirea relațiilor:

— pentru cuburi:

$$\sigma_c = \sigma'_c + k \sqrt{l} \quad (5.14)$$

— pentru prisme cu secțiune pătratică:

$$\sigma_c = (\sigma'_c + k) \sqrt{\frac{l}{h}} \quad (5.15)$$

în care: σ'_c este rezistența de rupere la compresiune a unui cub cu latura infinit mai mică, determinată prin încercări monoaxiale, daN/cm²;

k — constantă a materialului, cu valori între 43—50, pentru diferite tipuri de sare gemă;

l — lungimea muchiei cubului sau lățimea prisme pătrate, cm;

h — înălțimea prisme cu secțiune pătrată, cm.

Pentru exactitatea calculelor, folosind relațiile (5.14, 5.15) se impune ca raportul $h/l < 15$.

Dacă în urma calculelor efectuate cu relația (5.13) rezultă că $s/S = 1$, adică $s = S$, respectiv suprafața orizontală a tuturor pilierilor de susținere este egală cu suprafața cîmpului de exploatare, teoretic zăcămintul respectiv nu mai poate fi exploatat prin metode subterane obișnuite.

Din relația (5.13) se poate deduce, în acest caz, adîncimea maximă H_m pînă la care se pot efectua — teoretic, sau practic — exploatări cu camere și pilieri într-un zăcămint dat:

$$H_m \text{ (teoretic)} = \frac{\sigma_c + \gamma a e - \gamma_{a1}(h + e)}{\gamma_a} \quad (5.16)$$

$$H_m \text{ (practic)} = \frac{\frac{\sigma_c}{n} + \gamma a e - \gamma_{a1}(h + e)}{\gamma_a} \quad (5.17)$$

În paragrafele de mai sus, au fost expuse două procedee de calcul a dimensiunilor pilierilor de susținere și un procedeu de verificare. Avîndu-se în vedere atît experiența practică a exploatării zăcămintelor de sare gemă din țara noastră, cît și rezultatele calculelor confirmate de practică și efectuate de M. Stamatiu în lucrarea „Problema dimensionării stîlpilor la minele din R.S.România” — metodologiile expuse pot fi folosite în continuare în proiectarea exploatării zăcămintelor de sare în stare solidă.

De asemenea, aceste metode pot fi folosite și la stabilirea dimensiunilor pilierilor dintre camere și de panou sau de bloc.

5.1.3. CALCULUL DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SUSȚINERE LA EXPLOATAREA SĂRII PRIN DIZOLVARE CINETICĂ

În exploatarea sării geme s-au extins pe scară largă metodele de exploatare prin dizolvare cinetică. În funcție de procesul tehnologic aplicat, exploatarea prin dizolvare a sării are loc în excavații de formă cilindrică cu tavanul plan, boltit sau boltă retezată, separate între ele prin pilieri de susținere, care, în plan orizontal, au forme în funcție de modul de așezare în rețea geometrică, a cilindrilor de dizolvare. Pe scară largă se practică așezarea cilindrilor de dizolvare în rețea pătratică sau triunghiulară (fig. XVI.123).

Dimensiunile pilierilor de susținere depind de diametrul cilindrilor de dizolvare și de distanța dintre axele lor verticale. Pentru calculul dimensiunilor acestor stîlpi nu se mai pot aplica relațiile și formulele stabilite de autori pentru metoda de exploatare cu camere și pilieri de susținere, deoarece aceste relații și formule se referă la pi-

lieri de formă prismatică cu secțiune orizontală pătrată sau dreptunghiulară. În prezent, există, în această privință, numai posibilitatea de verificare la eforturi la compresiune a pilierilor de susținere cu dimensiuni prealabil alese.

În practica exploatării prin dizolvare a zăcămintelor de sare din țara noastră, la rezultate bune a condus procedeul de verificare propus de M. Stamatiu.

Procedeul de verificare propus de M. Stamatiu. Pentru stabilirea relației de verificare s-a impus condiția ca sarea din pilierii de susținere să nu se rupă sub acțiunea greutății planșoului de protecție de sare, a terenurilor acoperitoare (de deasupra acestuia), a greutății lor proprii și a contra-presiunii exercitate de saramura saturată aflată în cilindrii de dizolvare (fig. XVI.124).

Relația stabilită este de forma:

$$S \cdot H \cdot \gamma_a + s \cdot e(\gamma_{a1} - \gamma_a) + s \cdot h \gamma_a - (S - s) \gamma_{as} H \leq \frac{\sigma_c}{n} s \quad (5.18)$$

unde: S este suprafața cîmpului de exploatare, m²;

s — suprafața totală a stîlpilor de susținere, m²;

N — numărul cilindrilor de dizolvare în cîmpul de exploatare;

$S_e = S - s$ este suprafața totală a cilindrilor de dizolvare, m²;

$s_1 = \frac{S - s}{N} = \frac{S_e}{n}$ — suprafața în plan orizontal a unui cilindru de dizolvare, m²;

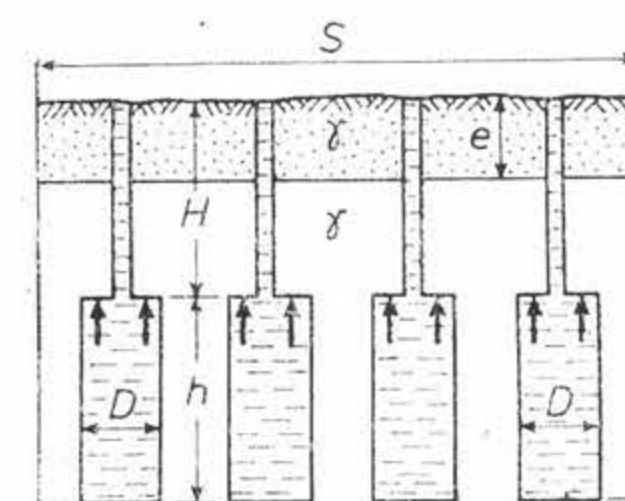


Fig. XVI.124. Procedeul de calcul și verificare a pilierilor dintre cilindrii de dizolvare, după M. Stamatiu.

H — adîncimea de la suprafață pînă la tavanul cilindrilor de dizolvare a unui etaj oarecare, m;

e — grosimea terenurilor ce acoperă zăcămintul de sare, m;

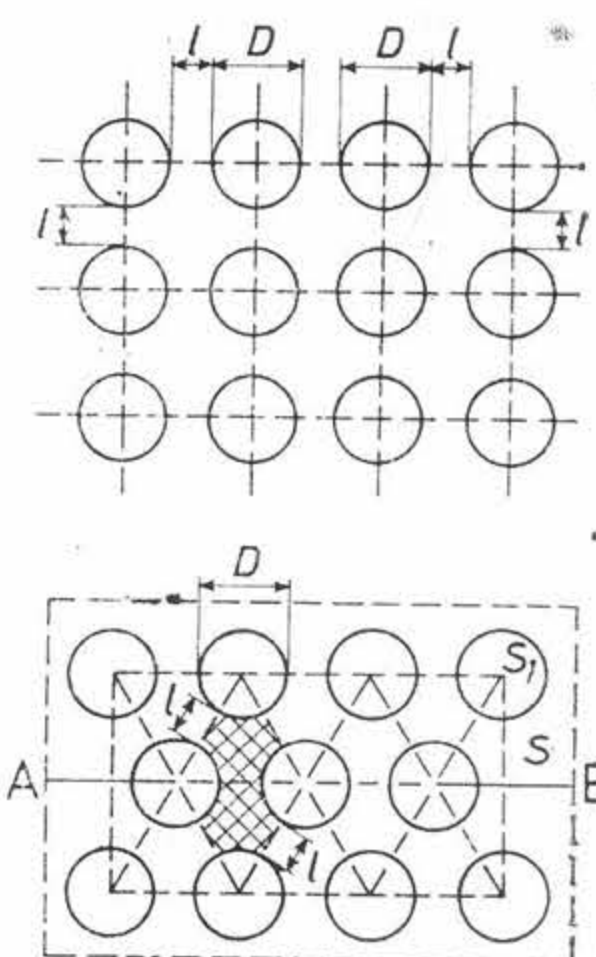


Fig. XVI.123. Distribuția cilindrilor de dizolvare în rețea pătratică sau triunghiulară.

h — înălțimea cilindrilor de dizolvare egală cu a pilierilor de susținere, m;
 γ_a — greutatea volumetrică a sării geme, MN/m³;
 γ_{a1} — greutatea volumetrică medie a terenurilor acoperitoare, MN/m³;
 γ_{as} — greutatea volumetrică a saramurii saturate, MN/m³;
 σ_c — rezistența de rupere la compresiune a sării din pilierul de susținere, MN/m²;
 n — coeficient de siguranță, se stabilește pe bază de experiență practică: $n = 15$ — dacă cilindrii de dizolvare nu sînt plini de saramură, $n < 5$ — dacă sînt plini cu saramură.

În cazul cînd $e = 0$ sau $\gamma_a = \gamma_{a1}$, ceea ce corespunde în cele mai multe cazuri condițiilor practice, relația (5.18) devine:

$$S \cdot H\gamma_a + s \cdot h\gamma_a - (S - s)\gamma_{as} H \leq \frac{\sigma_c}{n} s \quad (5.19)$$

de unde rezultă:

$$\frac{s}{S} = \frac{(\gamma_a - \gamma_{as})H}{\frac{\sigma_c}{n} - h\gamma_a - H\gamma_{as}} \quad (5.20)$$

Pentru calculul valorii lui σ_c , autorul recomandă folosirea relației (5.15), înțelegînd prin l distanța minimă dintre doi cilindri de dizolvare.

5.2. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA CAMERELOR DE EXPLOATARE ȘI GROSIMII PLANȘEELEOR DIN TRE ETAJE

5.2.1. DESCHIDEREA CAMERELOR LA TAVAN

Procedeu lui Ritter. Conform ipotezei lui Ritter, presiunea care apasă asupra unei lucrări miniere orizontale este dată de relația:

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{\gamma_a d^2}{48\sigma_t} - \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \right) \quad (5.21)$$

în care: γ_a este greutatea volumetrică medie a rocilor din tavanul lucrării, MN/m³;
 d — deschiderea (lățimea) la tavan a lucrării subterane, m;
 σ_t — rezistența de rupere la tracțiune a rocii din tavan, MN/m².

Notînd: $\frac{\sigma_t}{\gamma_a} = u$ și înlocuind în relația de mai sus rezultă:

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \quad (5.22)$$

Deschiderea maximă la tavan a unei camere de exploatare rezultă din condiția:

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) = 0 \quad (5.23)$$

Din relația (5.23) rezultă, pentru d , trei valori

$$d_1 = 0 \text{ și } d_{23} = \pm u \sqrt{48} = \pm 4u \sqrt{3} = \pm 7u \quad (5.24)$$

Dintre aceste două rădăcini admisibilă este numai una: $d = +u\sqrt{48}$. Pentru valori ale lui $0 < d < u\sqrt{48}$ tavanul lucrării miniere nu trebuie susținut, deoarece presiunea asupra tavanului este egală cu zero.

În practică, în funcție de configurația zăcămintului, se proiectează exploatarea unor camere cu o deschidere la tavan mai mare ca cea maximă: $d > u\sqrt{48}$; atunci se impune boltirea tavanului. Înălțimea de boltire se determină din condiția limită, impunînd ca greutatea corpului parabolic, redus ca greutate prin boltirea tavanului, să fie egală cu forțele de coeziune după bolta de echilibru.

În acest caz, greutatea corpului parabolic cuprins între tavanul boltit și cel plan este:

$$P' = \frac{2}{3} \gamma_a d \cdot b \quad (5.25)$$

unde b este înălțimea de boltire a tavanului.

Condiția de echilibru a tavanului boltit va fi:

$$P - P' = 0 \quad (5.26)$$

Înlocuind în expresia (5.26) relațiile (5.23 și 5.25) se duce:

$$b = \frac{3}{2} \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \quad (5.27)$$

Procedeu de calcul al lui Protodiakonov. Presiunea litostatică exercitată asupra tavanului unei lucrări subterane orizontale executată în roci omogene, conform teoriei bolții echilibrului natural, după autor se exprimă cu relația:

$$P = \frac{4}{3} \cdot \gamma_a \frac{a^2}{f} \quad (5.28)$$

în care: a este semideschiderea la tavan a lucrării, m;

f — coeficientul de tăiere al rocii din tavan după Protodiakonov;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor din tavan, MN/m²;

Bolta echilibrului natural — după acest autor — este o boltă parabolică.

Lungimea arcului de parabolă ce delimitează bolta de echilibru, pentru o lungime egală cu 1 m a lucrării subterane și în cazul cînd raportul h/a este foarte mic, se

poate exprima cu aproximație prin relația:

$$2s = 2a \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{f} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{f} \right)^4 \right] \quad (5.29)$$

în care: s este lungimea arcului de parabolă;
 h — înălțimea bolții parabolice.

Considerându-se după autor $\frac{h}{a} = \frac{1}{f}$ și punând condiția — la limită — ca greutatea

corpului parabolic să fie egală cu rezistența la tracțiune a acestui corp după bolta parabolică, se obține:

$$\frac{4}{3} \gamma_a \frac{a^2}{f} = 2a \sigma_t \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{f} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{f} \right)^4 \right]$$

sau

$$2a = 3f \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{1}{f} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{1}{f} \right)^4 \right] \quad (5.30)$$

Considerând pentru sare $f = 3$, din (5.30) rezultă:

$$2a \cong 9,5 \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \quad (5.31)$$

$$\text{După teoria lui Ritter, } d = 2a = u \sqrt{48} \cong 7 \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \quad (5.32)$$

Se poate trage concluzia că cele două procedee de calcul dau rezultate apropiate.

5.2.2. CALCULUL LUNGIMII UNEI CAMERE

Literatura de specialitate recomandă relația lui *H. Berger*, în care se pune condiția ca tavanul unei camere de exploatare la un zăcămint de sare să nu se surpe sub greutatea sării de deasupra lui.

Conform ipotezei enunțate la limită, relația este:

$$2H \cdot \sigma_f (d + l) = \gamma_a H \cdot d \cdot l \quad (5.33)$$

în care: d reprezintă lățimea camerei la tavan;
 l — lungimea camerei de exploatare;
 σ_f — rezistența de rupere la forfecare a sării;
 γ_a — greutatea volumetrică medie a sării.

În relația (5.33) expresia $\gamma_a H \cdot d \cdot l$ — reprezintă greutatea sării de deasupra camerei, iar expresia $2H \sigma_f (d + l)$ condiția de rezistență la forfecare a pereților camerei. Din relația (5.33) se poate determina lungimea unei camere:

$$l = \frac{d}{\frac{d \cdot \gamma_a}{2 \sigma_f} - 1} \quad (5.34)$$

5.2.3. CALCULUL ÎNĂLȚIMII UNEI CAMERE

Pentru calculul înălțimii unei camere de exploatare, literatura de specialitate indică mai multe metodologii, în funcție de forma acesteia și de ipoteza de manifestare a presiunii adoptată.

Extinderea metodelor de exploatare a sării geme pe cale uscată cu camere mici pătrate sau dreptunghiulare face posibilă folosirea relației lui *Ritter*, stabilită pe baza bolții de echilibru.

Relația stabilită de autor este de forma:

$$\frac{1}{2} \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \leq \sigma_f \cdot h \quad (5.35)$$

unde: d reprezintă deschiderea la tavan a camerei, m;

σ_f — rezistența de rupere la forfecare a rocii din tavanul camerei, MN/m²;

h — înălțimea camerei, m;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor din tavanul camerei, MN/m³;

$$u = \frac{\sigma_t}{\gamma_a};$$

σ_t — rezistența de rupere la tracțiune a rocii respective, MN/m².

Din relația (5.35) se poate determina înălțimea camerelor cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară în plan orizontal.

5.2.4. CALCULUL DIMENSIUNILOR PLANȘEULUI DINTRE CAMERE

Dezvoltarea exploatării pe verticală, în cazul extragerii zăcămintelor de grosime mare și foarte mare, implică lăsarea între etaje a planșeelor de siguranță, cu rolul de a mări siguranța în exploatare și crește stabilitatea pilierilor de susținere. Exploatarea etajelor decurge aproape în exclusivitate. În acest caz, singurele forțe care acționează asupra unui planșeu sînt greutatea sa proprie și greutatea relativ redusă a instalațiilor subterane (căi ferate, trolii, locomotive etc.).

Constructiv, planșeul dintre două camere se poate considera ca o placă groasă încastrată în pereții acestora. Pentru stabilirea dimensiunilor planșeelor dintre etaje, literatura de specialitate recomandă procedee de calcul și de verificare.

Calculul grosimii planșeului. Pentru aceasta se aplică ecuația fundamentală a grinzii drepte cu secțiune constantă, încastrată la extremități, bazată pe ipotezele lui *Bernoulli* și *Navier*.

Calculul grosimii planșeului rezultă din ecuația fundamentală, pentru cazul încovoierii, secțiunile periculoase fiind la punctele de încastrare:

$$M = \sigma_i \cdot W \quad (5.36)$$

unde: M este momentul încovoietor maxim;

W — modulul de inerție al secțiunii periculoase;

σ_i — rezistența de rupere la încovoiere a rocii din planșeu.

Pentru un planșeu cu lungimea egală cu unitatea:

$$M = \frac{1}{12} \gamma_a \cdot a \cdot D^2, \text{ iar } W = \frac{1}{6} a^2 \quad (5.37)$$

în care: γ_a — este greutatea volumetrică a rocii din planșeu;

a — grosimea planșeului;

D — lățimea planșeului egală cu deschiderea camerei.

Înlocuind valorile lui M și W în relația (5.36) se obține:

$$\frac{1}{2} \gamma_a \cdot a \cdot D^2 = \frac{1}{6} \sigma_i a^2$$

Din relația de mai sus, rezultă:

$$a = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_a}{\sigma_i} D^2 \quad (5.38)$$

Verificarea grosimii planșeului. Verificarea grosimii unui planșeu cu dimensiuni date se face prin aplicarea relațiilor pentru plăci dreptunghiulare încastrate, încărcate uniform cu sarcina p datorită greutății proprii, pentru un raport al lungimii și lățimii

$\frac{a}{b} = 1,5$ respectiv $\frac{a}{b} = \infty$ și pentru $\mu = 0,3$.

Relațiile de verificare se dau în tabelul XVI.35.

Semnificațiile notațiilor din tabel sînt:

σ_x — tensiunea după una din laturile plăcii, daN/cm²;

σ_y — tensiunea după latura a doua a plăcii, daN/cm²;

p — greutatea proprie a unui metru pătrat de placă, daN/cm²;

a — lungimea plăcii dreptunghiulare, cm sau m;

b — lățimea plăcii dreptunghiulare, cm sau m;

μ — coeficientul lui Poisson.

$$N = \frac{E \cdot h^3}{12(1 - \mu^2)} \quad [\text{daN cm}]$$

Tabelul XVI.35

Planșeu încastrat, fără suprasarcină

Raportul laturilor $\frac{a}{b}$	Săgeata f	Tensiunile în mijlocul plăcii		Tensiunea σ'_y în mijlocul laturii lungi
		σ_x	σ_y	
1,5	$0,0352 \frac{pb^4}{N}$	$-0,48 p \frac{b^2}{h^2}$	$-0,87 p \frac{b^2}{h^2}$	$1,81 p \frac{b^2}{h^2}$
∞	$0,0417 p \frac{b^4}{N}$	$-0,30 p \frac{b^2}{h^2}$	$-1,00 p \frac{b^2}{h^2}$	$2,00 p \frac{b^2}{h^2}$

Rezultatele calculelor tensiunilor cu relațiile din tabelul XVI.35 se vor compara cu rezultatele de rupere la eforturile respective a rocii din planșeu.

6. FENOMENELE DE MANIFESTARE DINAMICĂ A PRESIUNII MINIERE

În afara formelor de manifestare statică a regimului de presiune minieră (fig. XVI.125), în masivul de roci apar fenomene de distrugere dinamică, bruște, a unor zone de rocă sau zăcămint, solicitate de o stare de tensiune caracterizată de valori mari ale componentelor active. Asemenea fenomene, însă de amploare dezastruoasă și raportate la scară mare în scoarța terestră, cu efecte la suprafață și în subteran sînt cunoscute în ingineria seismică sub denumirea de *cutremure*. La scara intermediară a unei exploatare miniere, a unei lucrări sau a unui abataj acestea pot fi: exploziile de rocă și substanță minerală utilă sau șocurile miniere, erupțiile de rocă sau cărbune și gaze, viiturile de apă, gaze și nisipuri acvifere.

6.1. EXPLOZIILE DE ROCĂ ȘI SUBSTANȚĂ MINERALĂ UTILĂ SAU ȘOCURILE MINIERE

Sînt fenomene dinamice produse la zi sau în subteran, caracterizate prin fracturarea violentă a rocilor și deplasarea unor cantități mari de rocă sub formă de fragmente, de plăci sau blocuri desprinse din pereți, culcuș sau acoperiș (din taluzurile

de la zi) însoțite de un suflu sau undă de aer care străbate lucrările miniere, de zgomote clare audibile și de oscilații seismice ce se propagă în masivul înconjurător. Toate aceste manifestări au drept rezultat distrugerea rețelei de lucrări, a frontului de lucru, a susținerilor existente, a utilajelor etc.

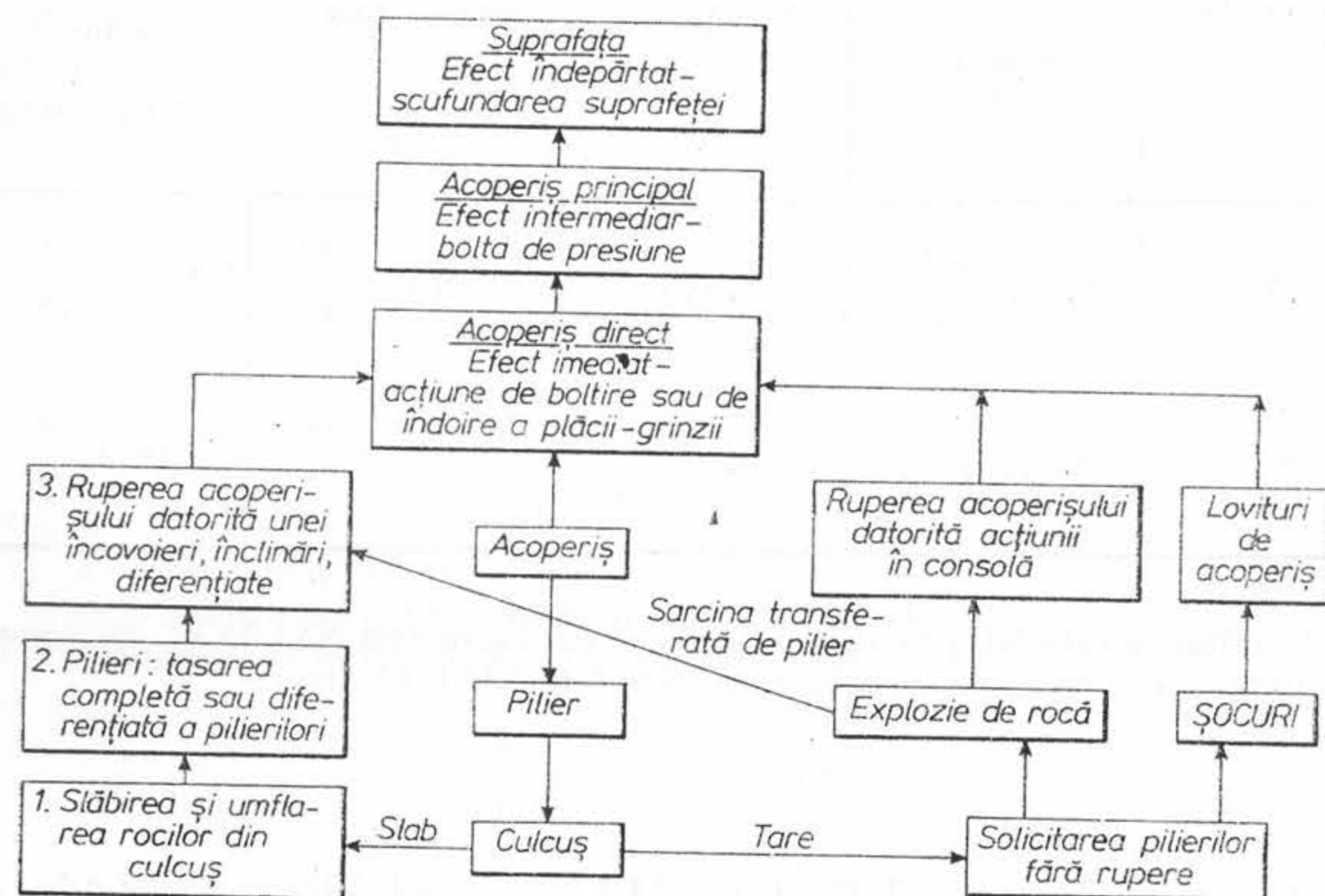


Fig. XVI.125. Comportamentul rocilor din jurul unei excavații miniere.

Cunoașterea cauzelor, a condițiilor și mecanismului de producerea acestor fenomene și elaborarea metodologiilor eficiente de prognoză, combatere-localizare a lor sînt probleme importante a căror actualitate sporește în mod continuu, fiind legată de creșterea adîncimii la care se desfășoară activitatea minieră.

Exploziile de rocă se manifestă sub diferite forme, în condiții diferite, la diferite etape de dezvoltare a excavațiilor miniere. Ele se produc atît în rocile înconjurătoare cît și în cazul zăcămintelor de substanță minerală utilă. Manifestarea unui astfel de fenomen este cunoscută sub o varietate de forme ca: exfolieri, dalări de fragmente de rocă puțin zgomotoase sau fragmentări de rocă de diferite intensități, prin producerea și deplasarea unor cantități de rocă de la cîtiva m³ pînă la sute și chiar mii de metri cubi, atît sub formă de praf și fragmente mărunte cît și sub formă de bucăți mari sau chiar blocuri întregi de rocă.

În literatura de specialitate sînt semnalate frecvent asemenea fenomene, iar observațiile făcute în mineritul din țara noastră ne confirmă prezența acestora într-o serie de bazine ca Baia Mare, Valea Jiului, Cîmpulung-Muscel, la exploatarea zăcămintelor de minereu, sare, cărbune.

Din punct de vedere topologic, asemenea fenomene pot apărea în masa de rocă în zăcămintele de cărbuni, manifestîndu-se în lucrări miniere (orizontale, verticale) singulare, în lucrări miniere multiple în abataje, în pilieri. Astăzi se poate accepta următoarea clasificare a fenomenelor de tipul *exploziilor de rocă* (tabelul XVI.36.)

Tabelul XVI.36

Clasificarea „exploziilor de rocă”

Criteriul de clasificare	Clasa sau tipul exploziei	Caracterizarea fenomenului
Fizic	Explozii prin dalare sau explozii de tipul I	Apar ca rezultat al eliberării bruște a energiei înmagazinate. Ca manifestare sînt asemănătoare cu ruperea sau fragmentarea epruvetelor de rocă casantă supuse la compresiune monoaxială. Se întîlnesc în general în cazul pilierilor de substanță minerală utilă, rocă și în cazul lucrărilor miniere singulare.
	Explozii prin șoc sau explozii de tipul II	Apar ca rezultat al unei solicitări aplicate instantaneu. O asemenea situație devine posibilă în cazul cînd zăcămintul este cantonat în roci tari și foarte tari, care în urma avansării frontului se surpă la distanțe mari, creînd unde seismice (de presiune) ce solicită instantaneu roca din jurul spațiului exploatat. Se manifestă în general la abataje.
	Explozii prin efracție, respectiv spargere sau explozii de tipul III	O cauză a unor asemenea manifestări este prezența unor intercalații de rocă plastică (argile) în acoperișul sau culcușul de rocă tare sau foarte tare. În asemenea condiții intercalația de rocă rigidă comprimată zvîcnește spărgînd porțiunea de rocă sub formă de explozie de rocă.
Energetic sau cantitatea de energie	Microexplozii sau împușcarea rocilor	Sînt fracturări mărunte ale rocilor de pe suprafața lucrărilor miniere, desprinderea de bucăți de rocă din front, culcuș sau pereții abatajelor. Asemenea fenomene sînt însoțite de efecte sonore — audibile asemenea unor împușcături. Se pot produce și în profunzimea masivului, asemănător unui seism fără o exteriorizare, prin fracturare dar cu o dislocare a masivului undeva în interiorul lui. Cantitativ clasa acestor fenomene este caracterizată de o energie seismică de pînă la 10 jouli, cu un grad de seismicitate în epicentrul sub 1.

Tabelul XVI.36 (continuare)

Criteriul de clasificare	Clasa sau tipul exploziei	Caracterizarea fenomenului
Seismica degajată la explozie și efectele de distrugere produse	Explozii slabe	Sînt dislocări locale caracterizate de o cantitate neînsemnată de rocă fracturată și azvirlită în excavație dar fără distrugeri esențiale ale susținerii și utilajelor miniere. Energia seismică este de $10-10^2$ jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru este de 1-2.
	Explozii medii	Sînt fracturări rapide însoțite de cantități considerabile de rocă sau substanță minerală utilă dislocate și care inundă spațiile exploatate, de formarea undelor de presiune ale aerului și de zgomote. Au drept efect distrugerea susținerilor, surparea lucrărilor pe lungimi de cîteva metri. Energia seismică este de 10^2-10^4 jouli, gradul de seismicitate în epicentru fiind de 2-3,5.
Seismica degajată la explozie și efectele de distrugere produse	Explozii puternice	Au același aspect ca și exploziile medii, dar efectele sînt mult amplificate, extinzîndu-se pe zeci de metri de lucrare. Energia seismică este de 10^4-10^7 jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru de 3,5-5.
	Explozii catastrofale	În cazul acestor manifestări apar efecte de distrugere completă a unor orizonturi întregi ale minei. Suprafața afectată atinge cîteodată mai multe sute de mii de metri pătrați. Energia seismică este mai mare de 10^7 jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru este > 5 .

Aceste fenomene sînt rezultatul acțiunii următorilor factori: natura litologică; proprietățile fizice, mecanice, elastice și reologice ale zăcămintului și rocilor înconjurătoare; starea de tensiune creată; caracteristicile geometrice ale zăcămintului; adîncimea de exploatare, metoda de exploatare etc.

Referitor la natura și proprietățile rocilor se poate preciza că cele mai favorabile sînt rocile de tip casant caracterizate ca roci tari, rezistente, cu un domeniu și caracter pronunțat elastic cum ar fi: bazaltele, cuarțitele, granitele, gresile, conglomeratele, sisturile grezoase, cărbunoase etc. Dacă s-ar putea induce în rocă o fracturare suplimentară lingă front sau dacă adîncimea zonei de fracturare s-ar putea extinde, atunci probabilitatea de apariție a exploziilor ar fi diminuată (fig. XVI.126).

Starea de tensiune are o mare influență asupra producerii fenomenelor dinamice fiind factorul preponderent în cazul adîncimilor mici. Odată cu creșterea adîncimii și dacă starea naturală de tensiune este numai de origine gravitațională, pericolul apariției exploziilor de rocă se micșorează. O asemenea micșorare este efectul minimizării a tensiunilor de forfecare cît și a concentrărilor se tensiune datorită egalizării componentelor dtării secundare de tensiune și manifestării unei stări apropiate de cea hidrostatică.

În cazul în care în masiv există o stare naturală complexă de tensiune (situație frecvent întilnită în realitate), atunci, chiar la adîncimi mari și în special în cazul zăcămintelor tectonizate, producerea exploziilor este mult favorizată.

Exploziile de rocă se întîlnesc frecvent în zonele anticlinale și sinclinale cu înclinări mari ale flancurilor. Sînt însă semnalate la zăcămintele neafectate de fenomene disjunctive și plicative dar la înclinări sub 20° .

În minele de cărbuni, unde se utilizează metode de exploatare cu stîlpi (lungi sau scurți) sau cu front lung continuu sau trepte răsturnate, există posibilitatea apariției fenomenelor dinamice datorită implicațiilor ce le pot crea aceste metode: lăsarea de stîlpi de cărbune neextrași, decalaj între fronturile de lucru etc. Asemenea fenomene, în contextul acestor metode, s-au produs la extragerea stîlpilor de lingă galeriile direcționale, dintre abatajele cu front lung, la lăsarea de pilieri în spațiul exploatat.

Exploziile de rocă sînt rezultatul fracturării rocii. Roca este supusă acțiunii unei stări de tensiune excesive (mai mare decît rezistența ei) și ca urmare se fracturează brusc, caz în care printr-o asemenea manifestare ea se eliberează în mod instantaneu de energia înmagazinată în timpul solicitării. Înmagazinarea energiei de către rocă este un fenomen similar comprimării unui arc. Același mecanism este întilnit și în cazul rocilor. Cantitatea de energie eliberată la producerea exploziei de rocă este deci acumulată sub o stare de tensiune de compresiune și nu de tracțiune, deoarece raportul dintre principalele rezistențe ale rocilor este: $\sigma_t < \tau < \sigma_c$. Observațiile și rezultatele experimentărilor conduc la afirmația că în jurul excavațiilor este favorizată fracturarea și ruperea rocilor mai mult prin forfecare decît prin tracțiune. Deci o explozie de rocă se produce atunci cînd roca casantă este supusă la tensiuni de compresiune suficient de mari, cauzînd brusc ruperea de-a lungul planelor de forfecare (fig. XVI.127).

Intensitatea de fracturare în timpul exploziilor de rocă depinde sau poate fi caracterizată de parametrii din fig. XVI.128. Roca casantă și elastică înmagazinează pe unitatea de volum o cantitate de energie \mathcal{E} dată de relația:

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma_1^2}{2E} \quad [\text{mN/m}^3] \quad (6.1)$$

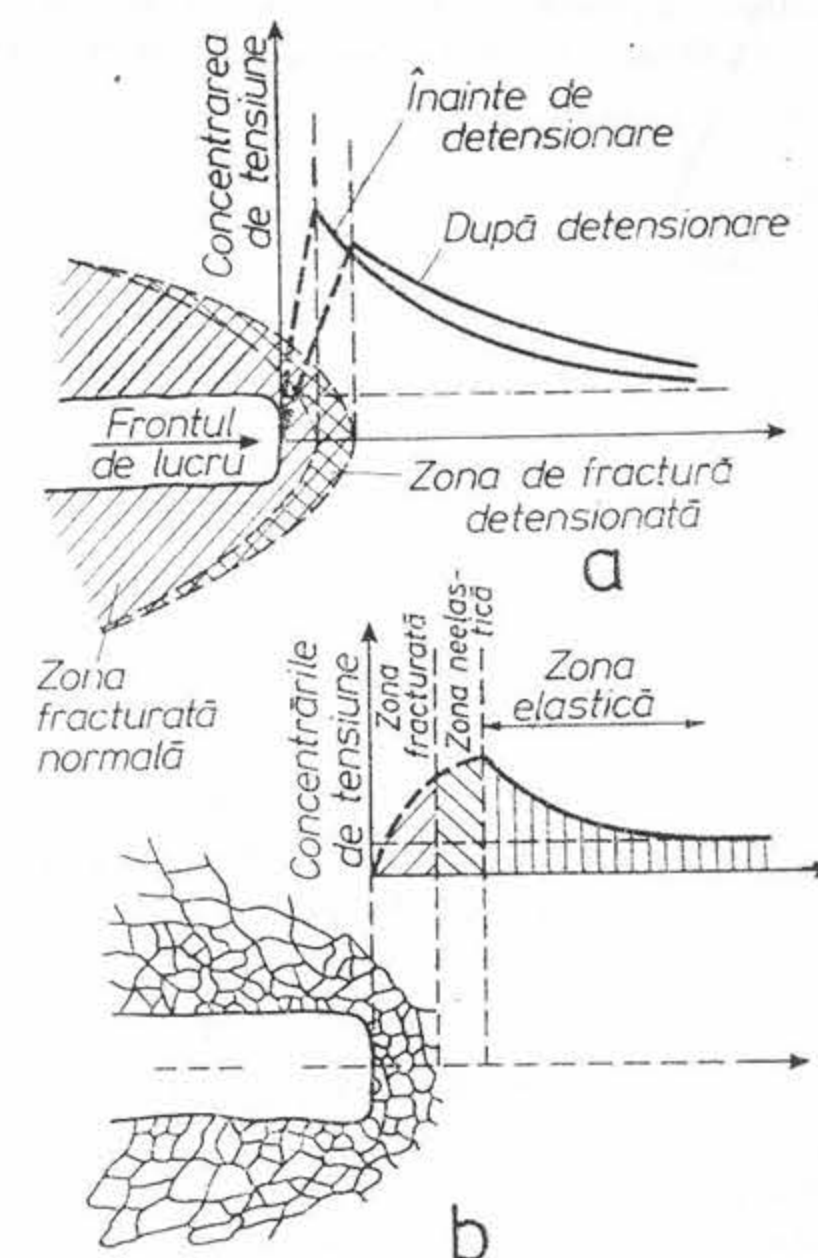


Fig. XVI.126. Starea de tensiune în fața frontului:

a — concentrarea de tensiune în fața frontului detensionat și b — lingă frontul de lucru.

în care σ_1 este tensiunea principală maximă, N/m^2 .

Prin urmare, capacitatea de înmagazinare a energiei de către o rocă sau substanță minerală utilă este invers proporțională cu valoarea modului de elasticitate E . Valoarea modului de elasticitate a cărbunilor este extrem de mică comparativ cu al rocilor și deci, așa cum o confirmă și observațiile, fenomenele de explozie sînt mai des întîlnite în stratele de cărbune decît în rocile înconjurătoare acestora.

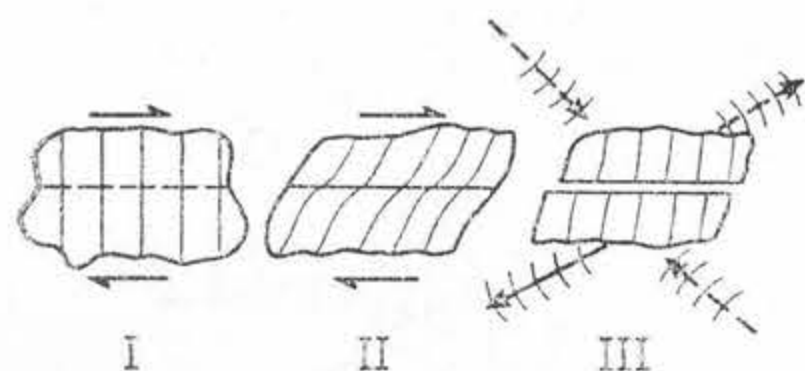


Fig. XVI.127. Fazele de producere a exploziilor de rocă.

Cantitatea de energie potențială \mathcal{E} care se eliberează în timpul exploziilor de rocă ca energie cinetică este constituită din două componente: energia potențială \mathcal{E}_{p1} de deformare elastică acumulată de roca din masiv în limitele fenomenului dinamic; energia potențială \mathcal{E}_{p2} acumulată pe baza compresiunii elastice creată de efortul tangențial. Deci:

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_{p1} + \mathcal{E}_{p2} \quad (6.2)$$

unde:

$$\mathcal{E}_{p1} = \frac{\sigma_c^2}{2E} V_r; \quad \mathcal{E}_{p2} = \frac{\sigma_c \cdot A \cdot \epsilon_0 \cdot a}{5} \quad (6.3)$$

În aceste relații: σ_c este valoarea medie a celei mai mari tensiuni normale;

V_r — volumul de rocă fragmentat la explozia de rocă;

A — suprafața elementului dislocat; ϵ_0 — valoarea maximă a relaxării sau deplasării radiale: $\epsilon_0 = \sigma/E$ (0,625–0,34%);

a — lățimea zonei de relaxare la producerea exploziei.

Deci:

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma_c^2 \cdot A}{2} \left(\frac{m}{E} + \frac{2a}{5E_r} \right) \quad (6.4)$$

unde m este grosimea zăcămintului; E_r — modulul rocilor; E modulul suanșței minerale utile.

6.1.1. EXPLOZIILE DE ROCĂ PRODUSE ÎN LUCRĂRI MINIERE SINGULARE

În roca înconjurătoare lucrărilor miniere se produc concentrări ale stării de tensiune naturale preexistente ce creează tensiuni tangențiale de compresiune. Aceste tensiuni constituie cauza apariției în rocă, la extremitățile fisurilor naturale sau a celor apărute în urma excavării, a unor eforturi de tracțiune paralele cu direcția de solictare a tensiunilor tangențiale la compresiune (conform ipotezei lui Griffith). Datorită acestor solictări, la un moment dat se produce fracturarea și elementele de rocă sînt refulate avînd drept consecință azvîrlirea lor din peretele lucrării, mai mult sau mai puțin violent, funcție de capacitatea de înmagazinare a energiei de către rocă — fenomen denumit *exfoliere*, *dalare* sau *izbucnire de rocă*. Acestea sînt *exploziile de factură minoră*, iar dacă fenomenul se extinde și în adîncime atunci sînt *explozii de factură medie* care se manifestă de fapt în lucrările miniere singulare (fig. XVI.129).

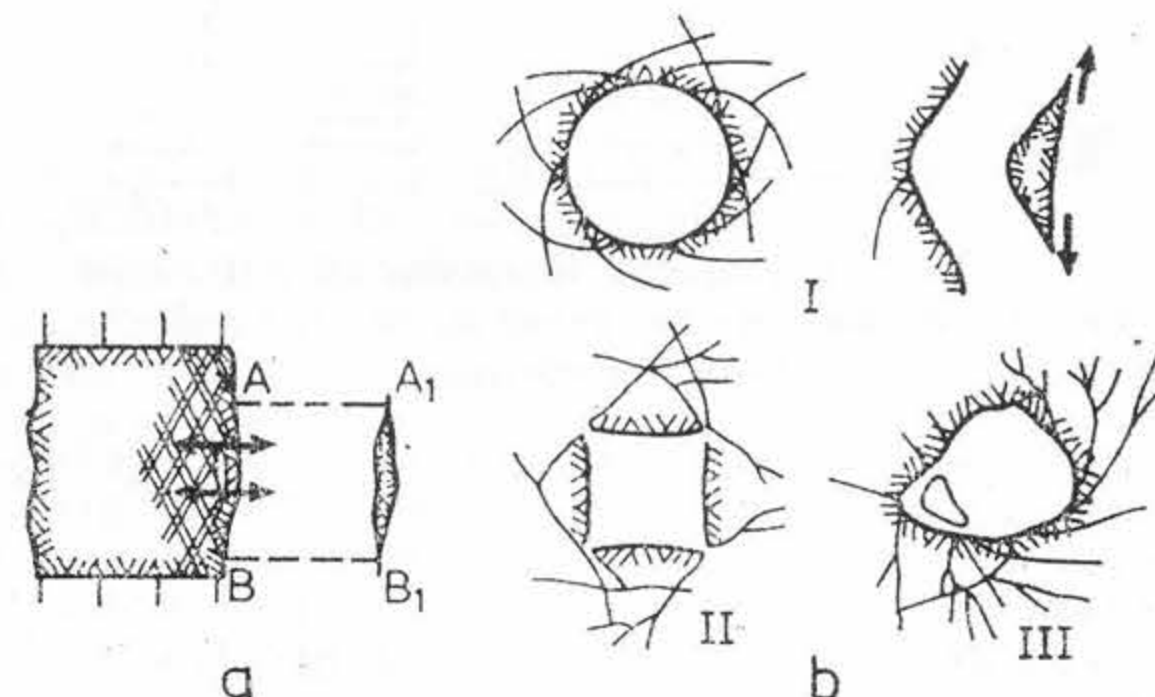


Fig. XVI.129. Tipuri de explozii de rocă:

a — explozie minoră: ruperea rocii prin fracturare sau forfecare; b — explozie moderată: tipuri de fracturare (I, II, III) în cazul unei stări de tensiune izotropă.

În cazul în care tensiunea tangențială de compresiune este orizontală, atunci fracturarea se produce la tavanul sau la vatra lucrării, iar dacă este verticală fracturarea se produce în pereții acesteia.

6.1.2. EXPLOZIILE DE ROCĂ PRODUSE ÎN LUCRĂRI MINIERE MULTIPLE ȘI ÎN ABATAJE

În acest caz fenomenul de explozie este mult mai intens, în sensul că efectele sînt mai dezastruoase, cu toate că mecanismul de producere este identic. În funcție de localizarea focarului de explozie (fractura principală produsă de explozie) și de efectele produse, aceste fenomene de factură majoră se pot încadra în două subgrupe:

- lovituri de acoperiș sau culcuș care se produc prin ruperea bolții create de rocă în tendința ei de echilibrare în jurul excavației;
- explozii produse în zăcămint.

Loviturile de acoperiș sau culcuș apar ca urmare a distrugerii stării de echilibru din jurul excavațiilor (lucrări multiple, abataje). Ruperea se produce ca urmare a acțiunii tensiunilor de forfecare ce se manifestă (fig. XVI.130).

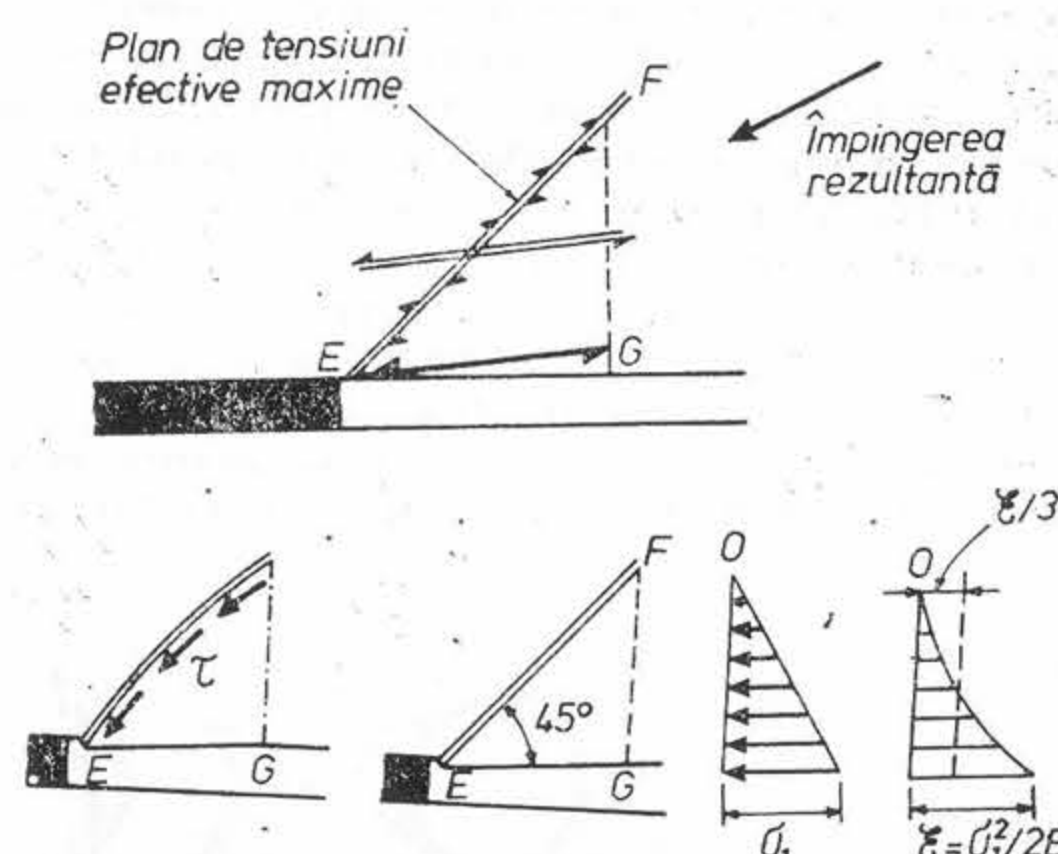


Fig. XVI.130. Ruperea acoperișului sub acțiunea tensiunilor de forfecare în cazul zăcămintelor de cărbune.

Direcția lui τ variază cu direcția și tipul de solicitare, de la orizontală (în cazul unei stări de tensiune complexe) până la verticală (în cazul stării gravitaționale). Considerând situația complexă de solicitare, fracturarea se va produce după o direcție $E-F$ (fig. XVI.130), progresând în spre interiorul rocii în mod ascendent din O , degajându-se în câteva milisecunde un volum mare de rocă ce este azvirlit în spațiul exploatat. Analizând blocul de forma EFG în momentul fragmentării și expandării, se poate stabili valoarea energiei elastice înmagazinate de această porțiune (EFG) înainte de rupere, deci :

$$\mathcal{E} = k \sigma_1^2 \quad (6.5)$$

unde k este $0,5 E$ în conformitate cu relația (6.1); σ_1 — tensiunea normală principală maximă; E — modulul de elasticitate al rocii. Ca urmare, linia care delimitează energia înmagazinată este o parabolă, iar suprafața închisă de acesta reprezintă energia totală înmagazinată de blocul considerat.

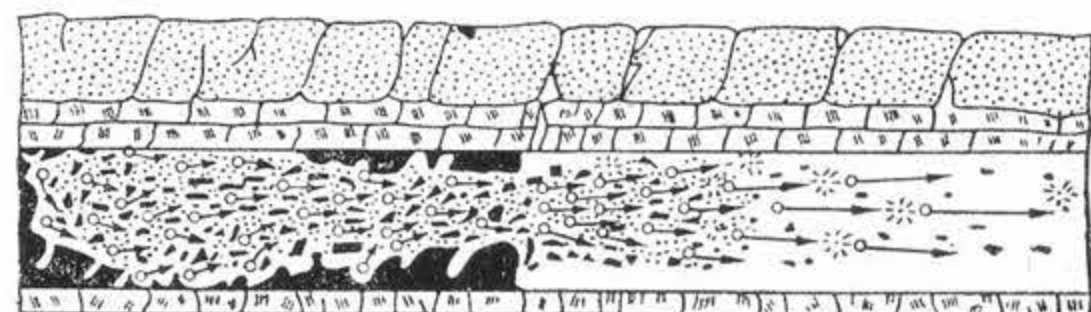


Fig. XVI.131. Explozii de cărbune.

Exploziile produse în zăcămint. În cazul zăcămintelor de cărbuni, exploziile care se produc la exploatarea acestora dezvoltă o fragmentare violentă numai a cărbunelui, fără nici o afectare inițială a rocilor înconjurătoare. În mod obișnuit majoritatea explo-

ziilor de cărbune se produc în zăcămintele tabulare, în acoperișul cărora se situează strate groase de rocă tare de tipul gresiilor, conglomeratelor, marno-calcarelor etc. (tabelul XVI.37). Mecanismul de producere a unor asemenea fenomene rezultă din fig. XVI.131.

Tabelul XVI.37

Rezistența rocilor din acoperișul și culcușul stratelor de cărbune

Denumirea	Rezistența de rupere la compresiunea, σ_i [MPa]	Modulul de elasticitate, E [MPa]
Rocile din acoperiș sau culcuș	20—135	$210 \cdot 10^2 - 450 \cdot 10^2$
Cărbunele	6—35	$21 \cdot 10^2 - 45 \cdot 10^2$

Toate observațiile arată că pentru evidențierea cărbunilor susceptibili la degajări bruște și instantanee față de cei care nu au o astfel de proprietate, trebuie măsurată viteza de absorbție sau desorbție a acestora.

În cazul zăcămintelor de minereu, substanța minerală utilă este în mod frecvent mai tare decât rocile înconjurătoare și deci exploziile în asemenea zăcămintele se produc numai la adâncimi mari și prin fracturarea acoperișului sau a culcușului lângă frontul de lucru și a zăcămintului însuși.

6.2. ERUPȚIILE DE CĂRBUNE ȘI GAZ SAU ROCĂ-APĂ ȘI GAZ (VIITURI)

Sînt tot o formă de manifestare dinamică a regimului de presiune minieră, adică a stărilor secundare de tensiune. Acestea sînt caracterizate ca fenomene bifazodinamice (gazodinamice) sau trifazodinamice (gazolichidodinamice). În esență constau în detașarea bruscă din abataj și sfărîmarea rocii sau a cărbunelui cu degajarea simultană a unor cantități considerabile de gaz sau apă și gaz. Deci erupțiile pot fi definite ca fenomene de dislocare rapidă a unor porțiuni oarecare din masiv însoțite de sfărîmarea intensă, măruntirea rocii și aruncarea ei în excavația minieră, cu degajarea simultană a unor cantități considerabile de gaz.

Un fenomen asemănător, cu toate că în genere se produce din vatra abatajelor, este acela de erupție a borchișurilor însoțite de gaze, adică viiturile (caracteristic zăcămintelor de lignit).

Aceste fenomene se pot caracteriza prin forța sau scara la care se produc. În afară de aceasta, se poate stabili coeficientul emanației de gaz sau gaz și apă k_g respectiv k_{gw} , prin raportul :

$$k_g = \frac{Q_g}{Q_m} \quad \text{sau} \quad k_{gw} = \frac{Q_{gw}}{Q_m} \quad (6.6)$$

unde: Q_m este cantitatea de rocă adusă de erupție; Q_g și Q_{gw} cantitatea de gaz respectiv gaz-apă degajată de erupție.

Intensitatea erupției, I_e , este:

$$I_e = \frac{Q_m}{t}; I_e = \frac{Q_g}{t}; I_e = \frac{Q_{gw}}{t} \quad (6.7)$$

unde t este durata fenomenului de erupție.

În cazul sistemului complex rocă-apă-gaz se poate scrie:

$$\tau' = c + (\sigma_N - \sigma) \operatorname{tg} \varphi = c' + \sigma_N \operatorname{tg} \varphi \quad (6.8)$$

unde τ' este tensiunea efectivă de forfecare; c' — modificarea coeziunii în funcție de tensiunea din pori a fazei gazoase și lichide;

σ_N — tensiunea normală totală;

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1 - \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1 + i_0}{i_0}} \quad (6.9)$$

σ_0 este starea de tensiune a fazei gazoase sau lichide; $\frac{\Delta V}{V}$ — creșterea de volum;

i_0 — indicele golurilor.

Prin urmare, cu cât variația volumului specific este mai mare cu atât se micșorează rezistența rocii. Prezența în rocă a unei faze sau chiar a două faze explică fenomenul de

slăbire a rocii și îl diversifică după cum variază raportul $\frac{\Delta V}{V}$. Astfel, dacă $\frac{\Delta V}{V} > 0$,

apare fisurarea rocii și favorizează apariția erupției, dacă $\frac{\Delta V}{V} < 0$ fisurarea se produce lent și nu apar fenomene dinamice.

Pericolul de erupție sau viitură poate fi prognozat pe baza parametrilor dependenți de distanța frontului de lucru. Locul cel mai nefavorabil unde comportamentul rocii trece de la cel elastic la plastic este distanța X_0 :

$$X_0 = \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{0,5 < m \cdot a + j - \frac{1}{m-1}}{(m-1) \left[\frac{\sigma}{\sigma_z - \sigma_0} + \frac{j}{m-1} - 1 \right]} \right\} \quad (6.10)$$

unde: a este semideschiderea abatajului; m — constanta lui Poisson;

$$j = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \quad (6.11)$$

Condiția generală de apariție a erupțiilor sau a viiturilor este dată de expresia:

$$\sigma_e < p_0 \frac{j-1}{1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_e}} \left\{ 1 + 1,3 \frac{1+i_0}{i_0} \cdot \frac{m-2}{mE} \cdot \frac{(m-1)(m \cdot n \cdot a - 1) - 2}{(m-1)(0,5 m \cdot n \cdot a + j) - 1} \cdot \left[[\sigma_p + (H\gamma a - p_0) \left(\frac{j}{m-1} - 1 \right)] \right] \right\} \quad (6.12)$$

în care: p_0 este presiunea inițială a gazelor sau a apei din pori; n — coeficientul de siguranță al susținerii; σ_p — limita plastică sau de curgere a rocii.

Prin urmare pericolul erupției sau a viiturilor poate fi stabilit prin analiza parametrilor naturali: H ; γ_a ; i_0 ; φ ; E ; sau m ; i_0 ; și p ; σ_e ; σ_p și a celor tehnici n și a .

Posibilitățile de prevenire și combatere trebuie să aibă la bază dirijarea stării secundare de tensiune, adică o determinare a zonelor înconjurătoare suprafețelor libere, pentru modificarea caracteristicilor de deformare a rocilor și acolo unde este necesar o degazare respectiv o asecare prealabilă.

7. INFLUENȚA EXPLOATĂRILOR SUBTERANE ASUPRA TERENULUI DE LA SUPRAFAȚĂ

7.1. DEFORMAREA SUPRAFETEI TERENULUI SUB INFLUENȚA EXPLOATĂRII SUBTERANE

7.1.1. CARACTERUL DEPLASĂRII ȘI DEFORMĂRII MASIVULUI DE ROCI ȘI A SUPRAFETEI TERENURILOR

Prin extragerea pe o anumită suprafață din zăcămint a substanței minerale utile, excavațiile subterane rezultate, atît în cazul cînd sînt rambleiate, dar mai ales atunci cînd se aplică dirijarea presiunii prin surpare totală, pun în mișcare masivul de roci acoperitoare, care caută să umple spațiul creat de exploatare. În funcție de natura și caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor, de adîncimea la care se află zăcămintul ce se extrage, în masivul de roci acoperitoare, în mișcarea sa spre spațiul exploatat, în timp, iau naștere trei zone (fig. XVI.132):

- zona surpărilor neregulate (1);
- zona surpărilor regulate (2);
- zona îndoirii stratelor sterile după stratificație (3).

Se consideră că în cazul în care adâncimea stratului ce se exploatează este mai mică de 100—150 m, și aceasta în dependență cu caracteristicile de deformare și mecanice ale rocilor, zona a treia, a îndoirii stratelor după stratificație, poate să lipsească.

În acest mod, mișcarea întregului masiv de roci spre spațiul exploatat se transmite suprafeței terenului de la zi. Propagarea mișcării masivului de roci spre suprafața terenului

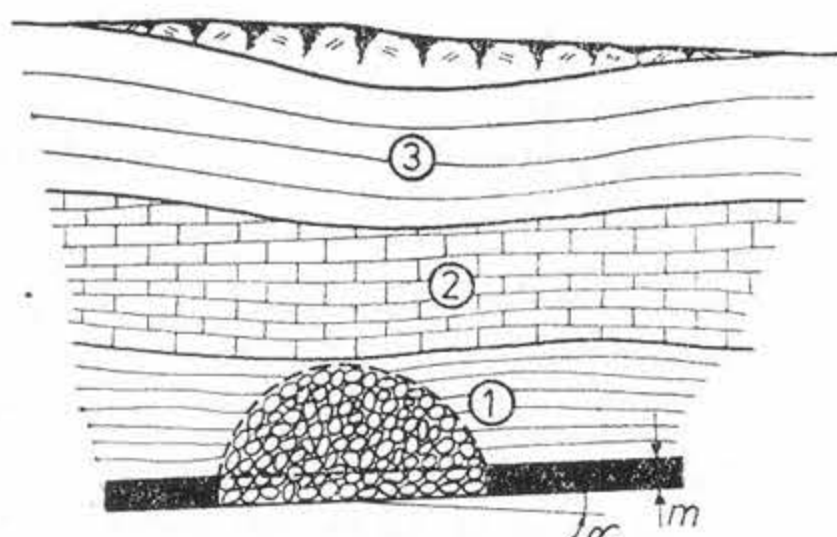


Fig. XVI.132. Modul de deplasare și deformare a masivului de roci sub influența exploatării subterane.

atinge o zonă din ce în ce mai mare, astfel încât atunci când ajunge la zi, forma luată de ansamblul deplasării și deformării poate fi asemănător cu o pilnie aproximativ piramidală (fig. XVI.133). Mărimea suprafeței de la zi afectată de mișcarea întregului masiv de roci, față de mărimea spațiului exploatat, este delimitată prin plane care cu planul orizontal fac anumite unghiuri (fig. XVI.133), denumite *de scufundare* (β_s, γ_s transversal pe zăcă-

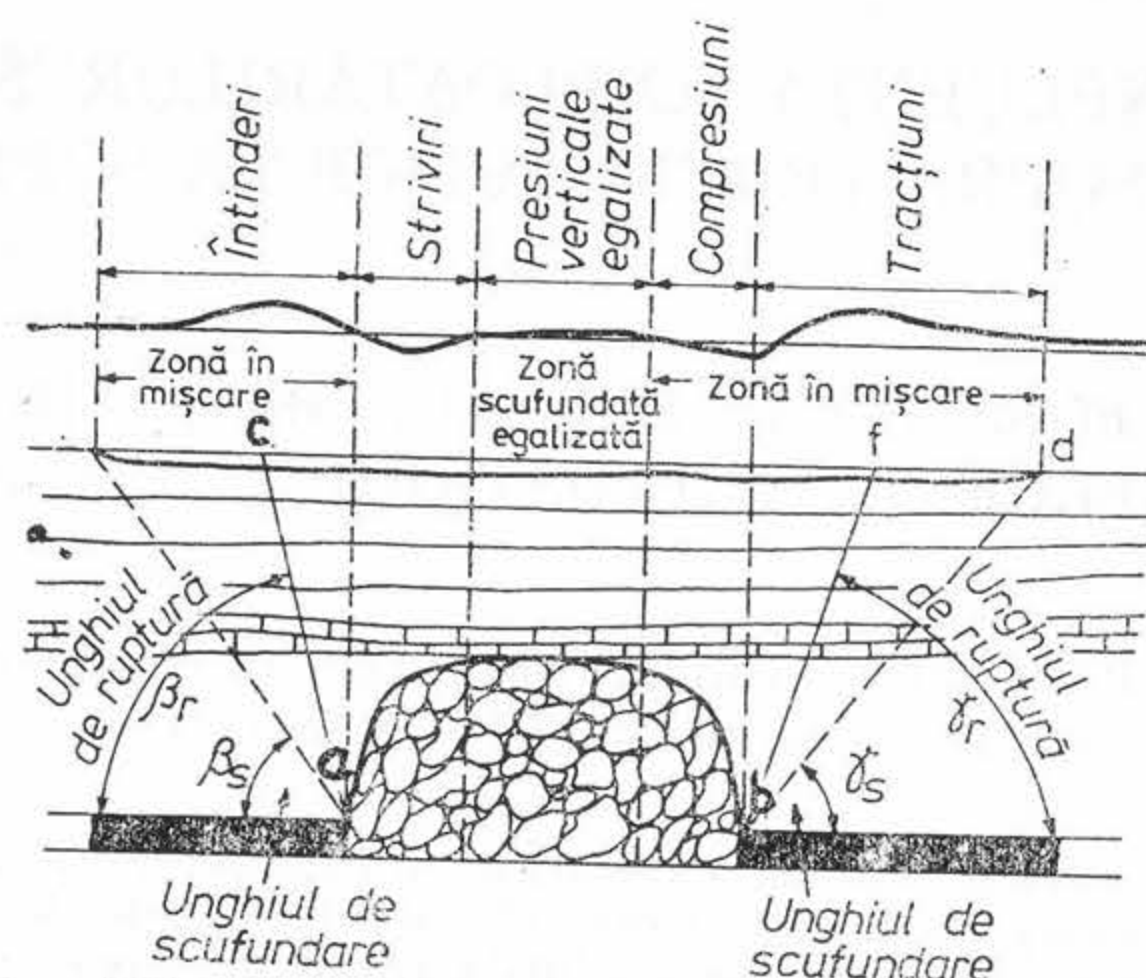


Fig. XVI.133. Deformarea suprafeței terenului și extindere în plan a zonei de scufundare.

mînt și δ_s după direcția zăcămintului). În interiorul pilniei de scufundare, la suprafața terenului, apar linii de fractură (ac, bf) înclinate sub diferite unghiuri, denumite *de rupere* ($\beta_r, \gamma_r, \delta_r$).

În funcție de adâncimea de exploatare, de natura și caracteristicile mecanice ale rocilor, în locurile unde liniile de fractură definite prin unghiurile de rupere străpung

suprafața de la zi, apar crăpături. Din observațiile făcute asupra scufundărilor, rezultă că atât masivul de roci cît și suprafața suferă deplasări și deformări, luînd naștere eforturi de compresiune și de tracțiune (fig. XVI.133).

7.1.2. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ PROCESUL DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE A SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Dintre factorii mai importanți care influențează procesul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor, se menționează:

- caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor acoperitoare;
- tectonica zăcămintului și masivului de roci;
- condițiile hidrogeologice;
- grosimea și înclinarea stratelor ce se exploatează;
- metoda de exploatare;
- metoda de dirijare a presiunii rocilor înconjurătoare;
- dimensiunile spațiului exploatat;
- adâncimea de exploatare etc.

Caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor situate deasupra stratului în exploatare reprezintă un factor important al procesului de deplasare și dislocare a rocilor. Rocile cu caracteristici elastice, în special cele casante, se rup în momentul în care eforturile la care sînt supuse — greutatea proprie sau suprasarcinile statice și dinamice datorite rocilor de deasupra — depășesc rezistența lor mecanică și se surpă în spațiul exploatat. În funcție de adâncimea de exploatare, în acest caz, pot apărea la suprafața deplasări discontinue însoțite de crăpături. Dacă, însă, rocile au caracteristici plastice predominante, stratele de deasupra excavațiilor create în zăcămint prin exploatare se coboară lin, îndoindu-se după stratificație și produc la suprafața de la zi deplasări continue fără apariția de crăpături.

Existența stratelor acvifere în acoperișul stratului în exploatare, fie că se asecă sau nu, amplifică mărimea deplasărilor și deformărilor ce apar la suprafața terenului.

Grosimea și înclinarea zăcămintului sînt, de asemenea, factori importanți în procesul de deplasare-deformare a rocilor acoperitoare. Cu cît zăcămintul este mai gros, oricare ar fi înclinarea lui, cu atît deplasarea și deformarea rocilor înconjurătoare va fi mai accentuată, iar terenul de la suprafață va suferi mai mult de pe urma fenomenului de tasare-scufundare. La înclinări mari și foarte mari, oricare ar fi adâncimea de exploatare, mai ales atunci cînd rocile înconjurătoare au rezistență și stabilitate mică, dislocările și surpările se fac simțite la suprafață.

Metoda de exploatare și în special metodele de dirijare a acoperișului — a căror aplicare este strîns legată de caracteristicile fizice și mecanice ale rocilor din acoperișul direct și principal al zăcămintului exploatat — contribuie și ele la amplificarea procesului de deplasare și deformare a masivului de roci și implicit a suprafeței terenului. În cazul zăcămintelor de cărbune, extragerea prin abataje cameră, indiferent de adâncime, produce la suprafața deplasări și deformări discontinue, cu apariția de crăpături, pe cînd extragerea cu abataje frontale poate da naștere la scufundări continue, fără apariția de crăpături. Dirijarea presiunii prin surpare totală conduce la valori mai mari ale scufundării suprafeței terenurilor de la zi în raport cu dirijarea prin rambleiere totală sau parțială.

Mărimea spațiului exploatat influențează direct forma deplasărilor pe verticală a suprafeței terenurilor precum și mărimea deformațiilor ce apar. Adâncimea de exploatare este unul din parametrii esențiali care caracterizează caracterul deplasării și deformării

suprafeței terenurilor. La adâncimi mici deplasările și deformările sînt discontinue. Odată cu creșterea adâncimii de exploatare, deplasările sînt continue, mărimea acestora scade. De la o anumită adâncime, în concordanță cu alți factori, mărimea deplasărilor și deformărilor suprafeței devine practic nulă.

7.1.3. PARAMETRII ȘI ELEMENTELE DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE A SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Strate orizontale și cu înclinare mică. Ca rezultat al exploatării pe o anumită suprafață a unui strat orizontal cu înclinare mică, la o adâncime suficient de mare, mișcarea masivului de roci acoperitoare spre spațiul exploatat în timp afectează suprafața terenului de la zi, producînd deplasarea și deformarea acestuia. Caracterul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane este caracterizat prin parametrii săi specifici și anume:

- unghiurile de scufundare ($\beta_s, \gamma_s, \delta_s$) și de rupere ($\beta_r, \gamma_r, \delta_r$);
- deplasarea verticală, sau scufundarea, W (mm);
- deplasarea orizontală, U (mm);
- deformația specifică orizontală, ε (mm/m);
- înclinarea, T (mm/m);
- curbura, K , (m^{-1}, km^{-1}).

Considerînd deasupra spațiului exploatat la suprafața de la zi două aliniamente topografice, unul perpendicular și altul paralel cu frontul de abataj, cu puncte situate la anumite distanțe constante între ele și determinînd pentru fiecare punct în parte parametrii amintiți, se vor obține curbele care definesc deformarea și deplasarea suprafeței de la zi (fig. XVI.134). Pentru zăcămintele stratiforme, orizontale și cu înclinare mică, curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sînt simetrice față de o dreaptă verticală ridicată deasupra jumătății spațiului exploatat (fig. XVI.134).

Unghiurile de scufundare se stabilesc prin măsurători topografice pentru fiecare bazin minier și depind de condițiile geologo-miniere ale zăcămintului, înclinarea și adâncimea stratelor. În tabelul XVI.38 sînt prezentate valorile unghiurilor de scufundare din principalele bazine carbonifere din țară și din unele bazine miniere din alte țări.

Parametrii de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor se obțin prin:

- măsurători topografice;
- calcule matematice de prognoză.

Strate cu înclinare medie și mare. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor de la zi este redată în fig. XVI.135. Din figură se observă că curba deplasărilor verticale este asimetrică în raport cu jumătatea spațiului exploatat. Maximul scufundării verticale este deplasat în partea din amonte a spațiului exploatat. Unind punctul de scufundare maximă de pe albia de scufundare cu mijlocul spațiului exploatat, aceasta face cu orizontala unghiul θ , a cărui valoare depinde în principal de următorii factori:

- caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor acoperitoare;
- unghiul de înclinare a stratului;
- adîncimea de exploatare;
- metoda de exploatare și dirijare a presiunii;
- dimensiunile spațiului exploatat etc.

Valoarea unghiului θ se stabilește în urma determinării prin măsurători topografice a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor, în funcție de condițiile geologice și de exploatare din fiecare bazin minier.

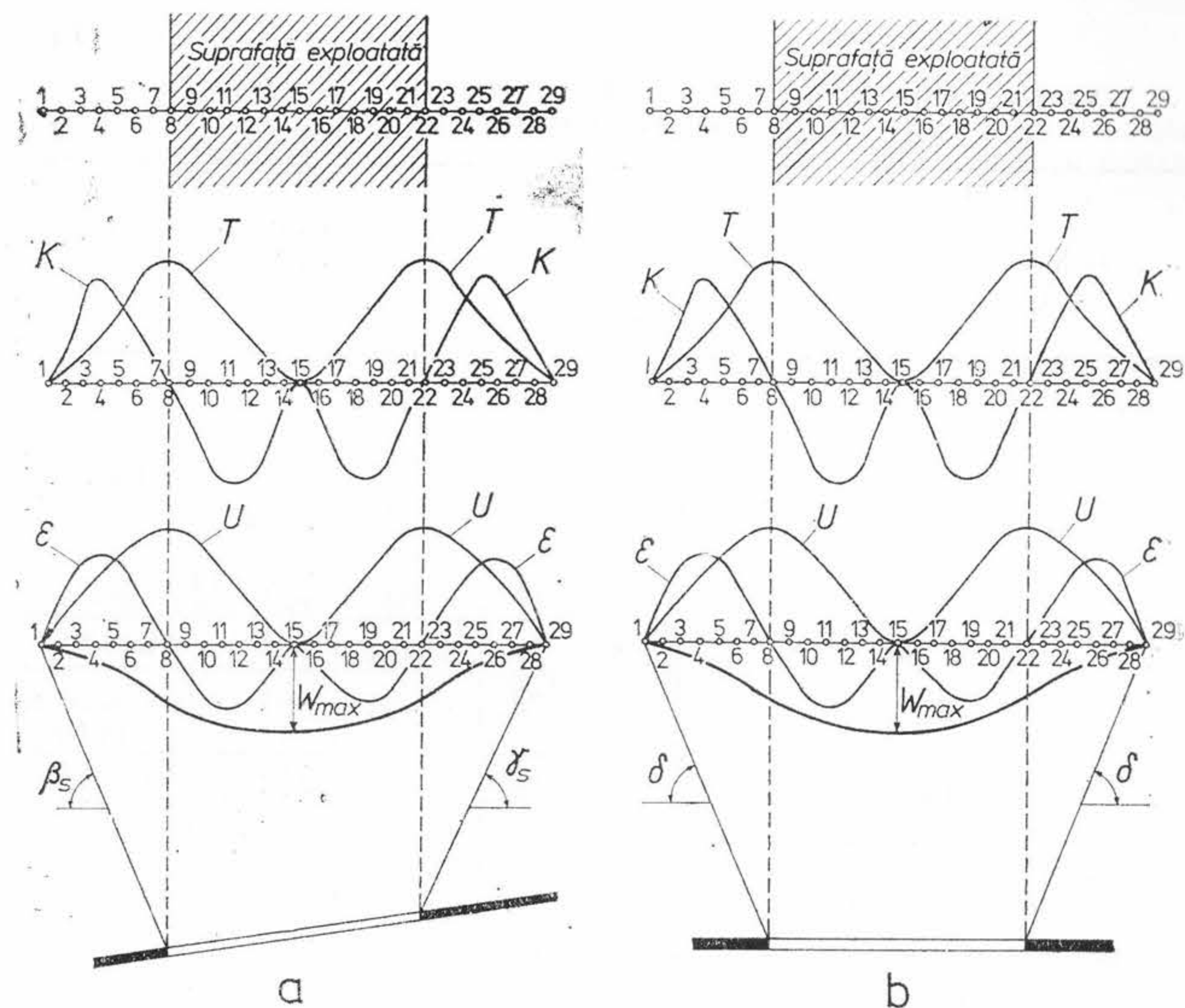


Fig. XVI.134. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor pentru strate orizontale și de înclinare mică:

a — secțiune transversală pe zăcămint; b — secțiune longitudinală prin zăcămint; W — curba deplasărilor verticale (albia de scufundare); U — curba deplasărilor orizontale; ε — curba deformațiilor specifice orizontale; T — curba înclinării albiei de scufundare; K — curba curburii albiei de scufundare.

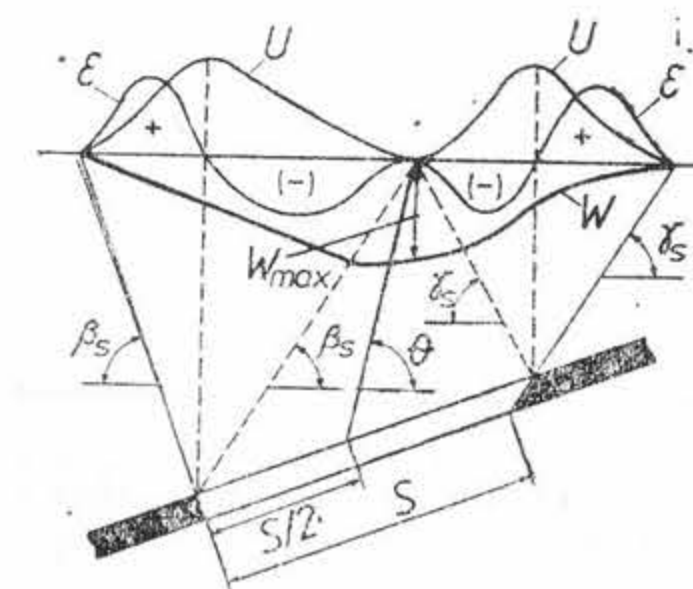


Fig. XVI.135. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor pentru strate de înclinare medie și mare:

W — albia de scufundare; U — curba deplasărilor orizontale; ε — curba deformațiilor specifice orizontale.

Tabelul XVI.38

Valoriile unghiurilor de scufundare în diferite bazine miniere din țară și din străinătate

Țara	Bazinul minier	Unghiul de scufundare			Înclinarea zăcămintului [grade]	Categorია de protecție	Felul zăcămintului
		β_s	γ_s	δ_s			
România	Motru	63 69	60 64	60 64	0-5 0-5	I II	Lignit
	Cîmpulung-Muscel	60 63	25 57	54 54	14 14	I II	Lignit
	Filipeștii de Pădure	63	57	60	12	I-IV	Lignit
	Valea Jiului*)	72	68	64'	Variabilă	I-IV	Huilă
	Deva	87	78	72	Vertical	I-IV	Minereu de cuprifera
	Bălan	83	73	70	>75	I-IV	Idem
Polonia	Silezia superioară	72	72	72	0-12	I-IV	Huilă
Cehoslovacia	Moravia	76	72	62	< 18	I-IV	Huilă
U.R.S.S.	Doneț	85 90- α 90- α	85 90 85	85 85 85	0-5 6-44 90- α	I-IV	Huilă
	Kuzneț	74 79 83 63 52 52	80 83 85 71 73 75	80 83 85 83 83 83	10 10 10 45 45 45	I II III I II III	Huilă
	Moscovei	65	55	50	0-8	I-IV	Cărbune brun
R.F.G.	Ruhr	78	69	64	0-18	I-IV	Huilă

*) Prin studiile întocmite în ultimii ani, în bazinul Văii Jiului au fost stabilite unghiuri de scufundare variabile cu înclinarea și adîncimea. Valorile acestor unghiuri nefiind confirmate de practică și legiferate, în tabel au fost date valorile unghiurilor după care s-au trasat pilierii de siguranță.
 α - unghiul de înclinare al zăcămintului.

7.1.4. STADIILE DE DEZVOLTARE A ALBIILOR DE SCUFUNDARE

Pentru a cunoaște stadiile de dezvoltare a albiei de scufundare pe măsura exploatarei, se pornește de la raportul dintre mărimea suprafeței abatajului și înălțimea pe care ar avea-o un presupus pilier de siguranță H , a cărui bază ar fi chiar suprafața cîmpului exploatat.

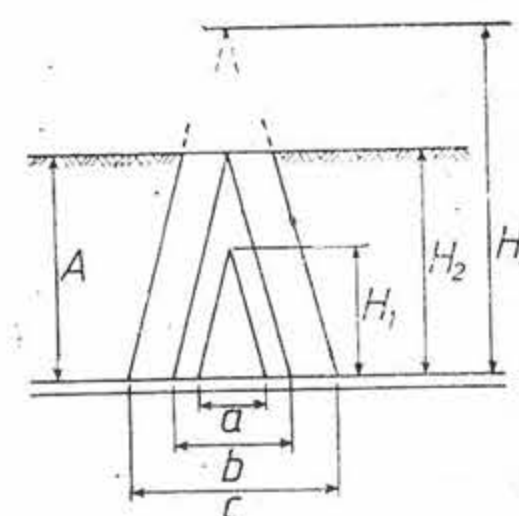


Fig. XVI.136. Stadiu de dezvoltare a albiei descufundare determinate de

$$\text{raportul } \frac{H}{A}.$$

În acest scop, dacă din marginile frontului de abataj se construiesc invers unghiurile de scufundare ($\beta_s, \gamma_s, \delta_s$) se obține o piramidă a cărei înălțime este H (fig. XVI.136). Notînd cu A adîncimea medie a exploatarei și făcînd raportul între H și A , se deosebesc trei stadii de dezvoltare a albiei de scufundare și anume:

— *albie subcritică*, cînd mărimea spațiului exploatat $L < 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$, sau $\frac{H}{A} < 1$, adică vîrfurile presupusului pilier de siguranță nu va atinge suprafața de la zi. Albia de scufundare are forma unei căldări și nici un punct de la suprafață nu va atinge scufundarea verticală maximă (fig. XVI.137);

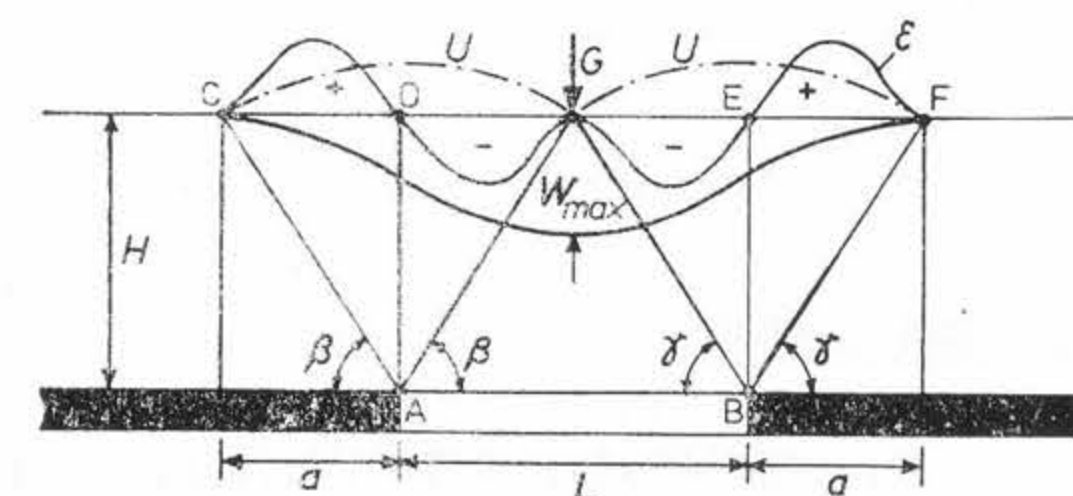


Fig. XVI.138. Albie de scufundare critică.

— *albie critică*, cînd mărimea spațiului exploatat $L = 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$, sau $\frac{H}{A} = 1$,

adică vîrfurile presupusului pilier de siguranță atinge suprafața de la zi. În acest caz un singur punct de la suprafață atinge scufundarea verticală maximă, în dreptul centrului suprafeței exploatate (fig. XVI.138).

— albie supracritică, când mărimea spațiului exploatat $L > 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$ sau $\frac{H}{A} > 1$, adică vârful presupusului pilier de siguranță depășește nivelul suprafeței de la zi.

Albia de scufundare, pe o mare întindere a zonei centrale, este largă, orizontală, mai multe puncte de la suprafață ating scufundarea verticală maximă. În această zonă nu apar

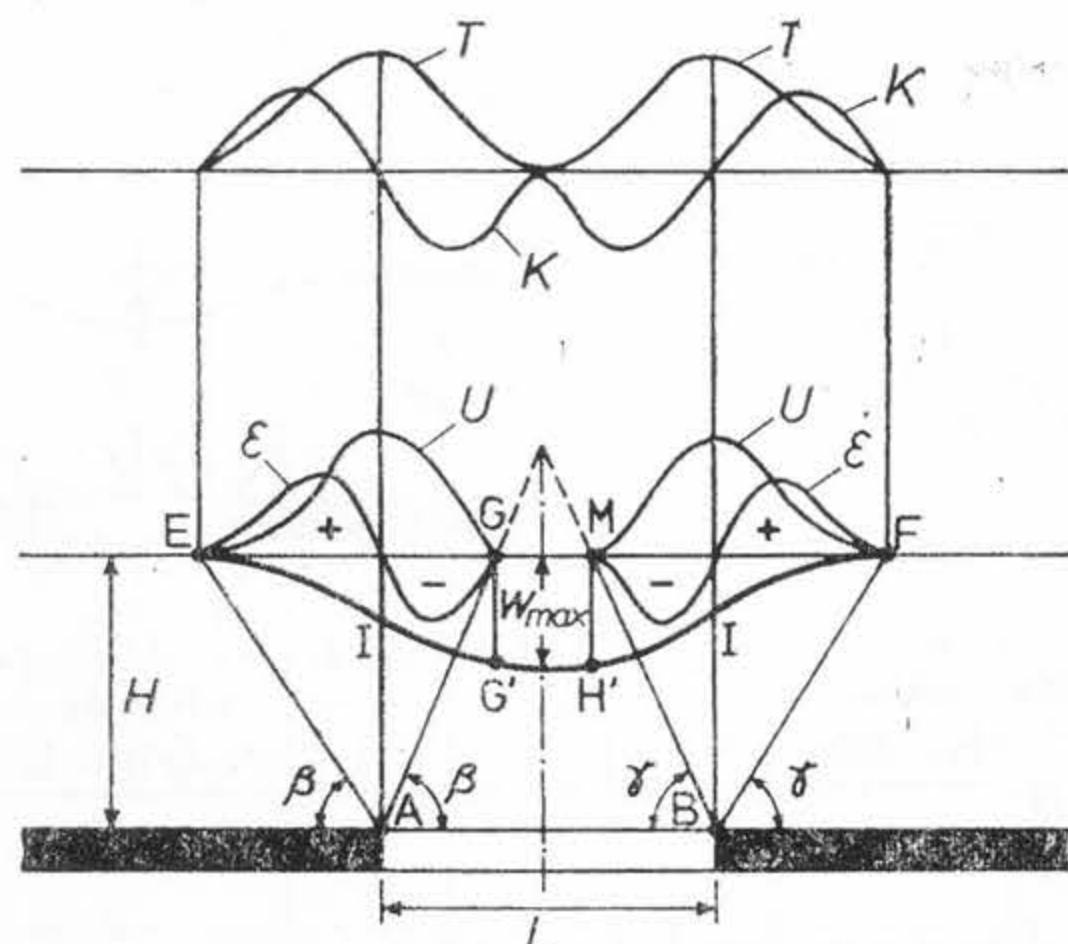


Fig. XVI.139. Albie de scufundare supracritică.

deplasări și deformări orizontale (fig. XVI.139). În punctul de inflexiune al curbei deplasărilor verticale, aflat pe verticala ridicată deasupra marginii frontului de abataj, scufundarea verticală este

$$W_I = \frac{1}{2} W_{max}.$$

În zona HE — scufundarea verticală a unui punct este cuprinsă în limitele :

$$\frac{1}{2} W_{max} < W < W_{max}.$$

iar în zona EF, scufundarea verticală a unui punct este

$$0 < W < \frac{1}{2} W_{max}.$$

7.2. METODE DE STUDIU A DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMĂRILOR SUPRAFETEI TERENURILOR

Protecția obiectivelor industriale, sociale și naturale de la suprafața perimetrelor miniere se face prin trasarea și dimensionarea pilierilor de siguranță (protecție). În multe din cazuri se pune problema valorificării rezervelor de substanță minerală utilă imobi-

lizate în acești pilieri de siguranță, deci punerea în exploatare și introducerea lor în circuitul economic. În această situație se întreprind studii pentru cunoașterea deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor sub influența exploatarei unui zăcămint situat în anumite condiții geologo-miniere și de exploatare. În studierea unei astfel de probleme sînt folosite metode topografice și metode matematico-analitice de calcul de prognoză.

Metodele topografice constau în amplasarea, la suprafața terenurilor, de stații de măsurare topografică a parametrilor de deplasare și deformare. Aceste stații topografice sînt formate din aliniamente de măsurare, amplasate după direcția și înclinarea straturii, adică perpendicular și paralel cu direcția de avansare a frontului de abataj. Pe fiecare aliniament sînt materializate puncte sub forma unor repere situate la anumite distanțe. În aceste aliniamente se fac măsurători de nivelment și distanțe orizontale dintre repere. Prin măsurători de nivelment se determină scufundările verticale a suprafeței terenului și se ridică curba scufundărilor verticale sau albia de scufundare. Din calcule se determină curba înclinării și curba curbării albiei de scufundare.

Executînd măsurători de distanțe orizontale dintre repere, se determină deplasările orizontale și se ridică curba acestora. Din calcule se determină valoarea deformațiilor specifice orizontale. Totodată, în urma tuturor măsurătorilor efectuate se determină unghiurile de scufundare și de rupere. Metodologiile de efectuare a măsurătorilor, a calculelor de determinare a unor parametri, precum și modul de prelucrare a datelor, constituie obiectul unui capitol din cadrul Topografiei miniere (v. Secțiunea XV).

Metodele matematico-analitice de calcul constau în adoptarea unor relații de calcul de prognoză a parametrilor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor. În această situație, se aplică una din metodele de calcul ce a fost elaborată pentru condiții geologo-miniere asemănătoare cu zăcămintul ce trebuie exploatat și care, verificată în practică, a condus la rezultate satisfăcătoare. Literatura de specialitate pune la dispoziție în prezent o multitudine de metodologii de calcul de prognoză a parametrilor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatarei subterane, ale căror rezultate au fost confirmate de practica inginerescă.

7.2.1. DEPENDENȚA MATEMATICĂ ÎNTRE CURBELE DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE

Considerînd cazul unei albie de scufundare critică sau supracritică, se observă că între curbele de deplasare și deformare există o dependență matematică. Față de sistemul de axe de coordonate adoptat, rezultă următoarele (fig. XVI.140) :

- în punctul de inflexiune al curbei deplasărilor verticale, curba înclinării prezintă un maxim și are valoarea zero în punctul unde apare scufundarea verticală maximă ;
- pentru valoarea maximă a curbei înclinării, curba curbării albiei de scufundare are valoarea zero.

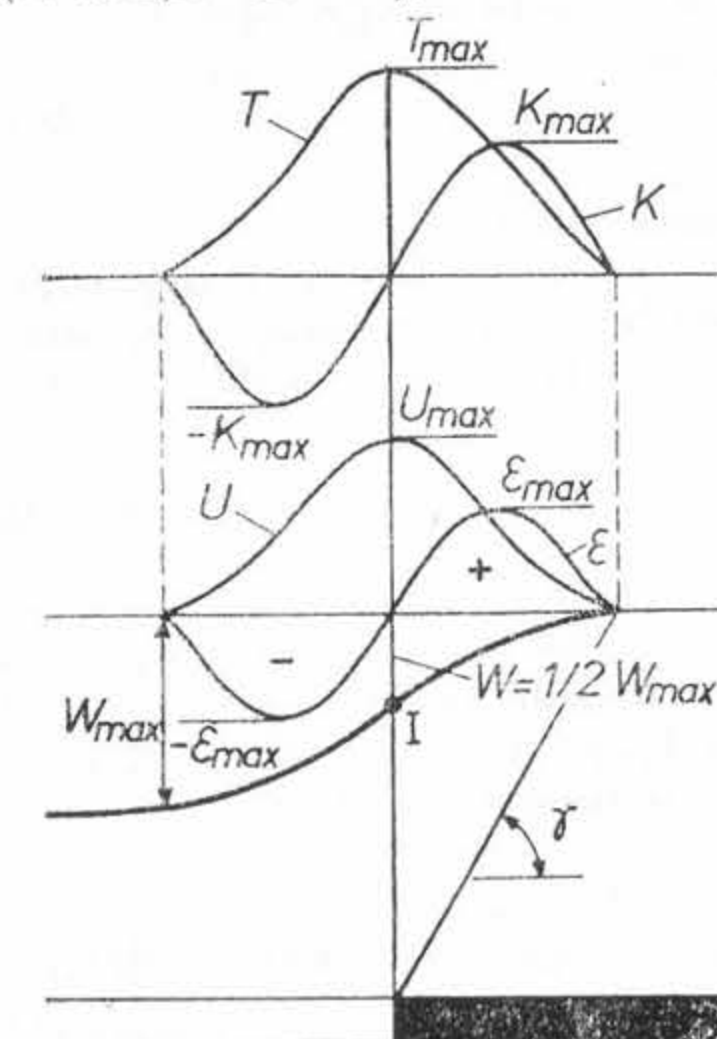


Fig. XVI.140. Dependența matematică între curbele de deplasare și deformare.

De asemenea, pentru valoarea zero a deformațiilor specifice orizontale, curba deplasărilor orizontale prezintă un maxim.

Această dependență între curbele de deplasare și deformare poate fi exprimată matematic sub forma:

— dacă $W(x)$ exprimă funcția curbei deplasărilor verticale, atunci ecuația curbei înclinărilor va fi $T(x) = \frac{dW}{dx}$, iar ecuația curbei curburii albiei de scufundare, $K(x) =$

$$= \frac{d^2 W}{dx^2};$$

— dacă $U(x)$ exprimă funcția curbei deplasărilor orizontale, atunci ecuația curbei deformațiilor orizontale va fi $\varepsilon(x) = \frac{dU}{dx}$.

De fapt, această dependență matematică rezultă din însăși modul de ridicare prin metode topografice a acestor curbe de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatarei subterane.

S. G. Avershin, pe baza studierii unui foarte mare număr de măsurători topografice, a stabilit că între curba înclinării și curba deplasărilor orizontale poate fi acceptată o legătură de forma:

$$U(x) = B(y)T(x) \text{ de unde } U(x) = B(y) \frac{dW}{dx} \quad (7.1)$$

unde:

$B(x)$ este funcție dependentă de adâncimea de exploatare și de caracteristicile geologice ale zăcămintului. Se stabilește experimental pentru fiecare bazin în parte.

Ținând seama de cele arătate mai sus, rezultă că și

$$\varepsilon(x) = B(y) \frac{dU}{dx} \text{ sau } \varepsilon(x) = B(y) \frac{d^2 W}{dx^2} \quad (7.2)$$

De asemenea, rezultă că dacă se poate găsi o funcție matematică care să exprime deplasările verticale $W(x)$, prin derivări succesive și ținând seama de legătura între $U(x)$ și $T(x)$ dată de Avershin — se pot stabili ecuațiile celorlalte curbe de deplasare și deformare a suprafeței terenului.

7.2.2. EVOLUȚIA METODELOR DE CALCUL A DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMĂRILOR SUPRAFEȚEI TERENURILOR

După modul cum a fost rezolvată problema, teoriile și metodele matematice elaborate se pot împărți în două mari clase:

I. Teorii ce au la bază relații empirice, deduse pe baza observațiilor topografice și prin intuiții, privind modul de manifestare a fenomenului. Aceste teorii au astăzi numai o importanță istorică și de documentare.

II. Metode matematice, elaborate fie pe baza prelucrării rigurose matematice a observațiilor topografice, fie că se axează pe legi de comportament a corpurilor solid de-

formabile. Acestea, în funcție de modul cum au rezolvat problema, pot fi clasificate în trei grupe și anume:

1) Teorii ce descriu fenomenul de mișcare a suprafeței terenurilor cu ajutorul ecuațiilor sub formă integrală și se bazează pe o exprimare geometrică a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor.

Conform acestor teorii, scufundarea suprafeței într-un punct determinat se calculează cu ajutorul unei integrale de suprafață, a funcției de influență, pe domeniul ce reprezintă proiecția suprafeței de strat exploatat în plan orizontal.

Ecuația generală a scufundării are forma:

$$W(x) = W(S) \int \varphi(x, s) ds \quad (7.3)$$

unde: $W(S)$ este funcția ce descrie scufundarea maximă a suprafeței terenurilor, a cărei valoare diferă de la autor la autor și de la un bazin minier la altul;

$\varphi(x, s)$ — funcția de influență, a cărei formă algebrică diferă de la un autor la altul.

Din această grupă fac parte o serie de metode matematice de calcul de prognoză elaborate în U.R.S.S., R. F. Germania, Anglia, Polonia, Ungaria, România etc.

2) Teorii ce au la bază anumite legi ale teoriei elasticității și plasticității, care stabilesc deformarea și deplasarea suprafeței terenurilor prin așa-zisele ecuații de stare ce dau legătura dintre tensiuni și deformații. Din această grupă fac parte teoriile unor cercetători sovietici, polonezi și români.

3) Metode de calcul ce au la bază legi ale mecanicii stochastice. Din această grupă face parte metodologia de calcul elaborată de cercetătorul polonez J. Litwiniszyn.

Dintre cele trei grupe de metode, cele din grupa întâi și a doua au o largă aplicabilitate, practică, fiind frecvent folosite în calculul de prognoză a deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor în bazine miniere din diferite țări.

7.3. METODE MATHEMATICO-ANALITICE DE CALCUL A PARAMETRILOR SCUFUNDĂRII

În practică apare o mare varietate de albie de scufundare. Pentru a cunoaște exact fenomenul formării albiei de scufundare și construirea modelului ei matematic, trebuie să se aibă în vedere acea albie reală care este conformă cu condițiile acceptate în teoria dată și descrie procesul de scufundare. Condițiile ce se află la baza rezolvării teoretice a problemei acceptate de majoritatea autorilor sînt:

- albia de scufundare a luat naștere ca efect al exploatarei unui singur strat;
- marginea frontului de exploatare este dreaptă și suficient de lungă;
- se consideră profilul albiei de scufundare perpendicular pe frontul de exploatare;
- albia de scufundare exprimată prin relații matematice este ultima formată, aceasta însemnând că mișcarea terenului s-a terminat — fiind denumită *albie statică*, în opoziție cu *albia dinamică*, ce se creează în timpul avansării frontului de exploatare sau după oprirea lui, dacă nu a apărut integrala liniștire a terenului;

— suprafața de strat extrasă este suficient de mare pentru a lua naștere albiei de scufundare critice sau supracritice;

- adâncimea de exploatare este suficient de mare pentru ca scufundarea suprafeței să aibă un caracter continuu;
- rocile masivului să dovedească un mare grad de omogenitate și să lipsească deranjamentele tectonice.

7.3.1. STRATE ORIZONTALE ȘI CU ÎNCLINARE MICĂ

Teoria Bayer. Autorul împarte suprafața de strat exploatată în suprafețe elementare și consideră că scufundarea unui punct de la suprafață este funcție de distanța r , a suprafeței elementare exploatată față de centrul suprafeței totale exploatate (fig. XVI.141).

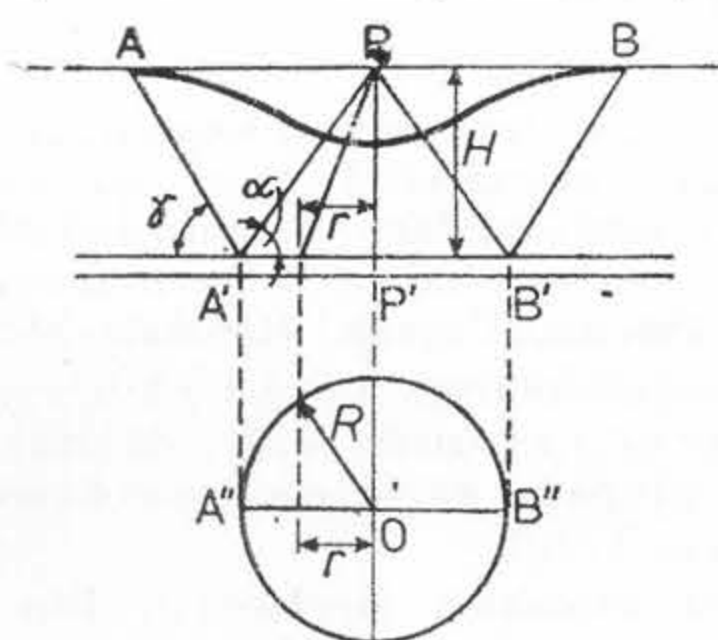


Fig. XVI.141. Schemă de calcul a scufundării verticale conform teoriei Bayer.

XVI.141). Scufundarea verticală produsă de acel element de suprafață se determină cu relația:

$$K_s = c (1 - i)^2 \text{ unde } i = \frac{r}{R} \quad (7.4)$$

Fiecare suprafață elementară exploatată determină asupra terenului de la zi o anumită zonă de influență, a cărei suprafață se poate calcula prin integrarea relației (7.4).

$$I_s = 2\pi c \int_D^R \left(1 - \frac{r}{R}\right) r \cdot dr \quad (7.5)$$

După efectuarea integrării și din fig. XVI.141, notînd $R = H \operatorname{ctg} \gamma$, se obține expresia:

$$I_p = \pi c H^2 \operatorname{ctg}^2 \gamma \left(i^2 - i^4 + \frac{i^6}{3} \right) \quad (7.6)$$

în care $0 < i < 1$.

Pentru $i = 1$ și $r = R$ se obține relația pentru calculul scufundării totale.

$$I_s = \frac{\pi}{3} c H^2 \operatorname{ctg}^2 \beta = W_{max} \quad (7.7)$$

de unde rezultă că:

$$c = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{W_{max}}{R^2} \quad (7.8)$$

$W_{max} = a \cdot m$ este scufundarea maximă,
unde: m este grosimea stratului;

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii rocilor în abataj (valorile sînt date în tabelul XVI.39).

Tabelul XVI.39

Valoarea coeficientului a din teoria Knothe-Budry funcție de metoda de dirijare a presiunii în abataj

Metoda de dirijare a presiunii rocilor în abataj	Valoarea coeficientului a
Surpare totală	0,6—0,8
Rambleiere parțială	0,5—0,6
Rambleiere totală executată cu mașini de rambleiat	0,4—0,5
Rambleiere totală pneumatică	0,25—0,30
Rambleiere hidraulică normală	0,1—0,12
Rambleiere hidraulică sub presiune	0,08—0,1
Exploatarea în camere cu rambleu hidraulic sub presiune și cimentare	0,02—0,08

Teoria King — Wardell. A fost elaborată pentru zăcămintele cu înclinare mică, grosime mică și medie, din bazinele miniere din Anglia, luîndu-se în considerare albi statice-simetrice de scufundare. Metoda de calcul face parte din grupa teoriilor geometrice.

Bazați pe numeroase măsurători topografice, autorii propun pentru curba de profil principal următoarea ecuație:

$$W_i = W_0 \cdot a \cdot \operatorname{tg} h \frac{b \cdot x}{H} \quad (7.9)$$

în care: W_i este scufundarea verticală într-un punct;

W_0 — scufundarea maximă;

a și b — constante care se determină în condițiile la limită și anume, că în punctele de inflexiune scufundarea reprezintă jumătate din scufundarea maximă (fig. XVI.142).

Astfel:

$$W = \pm \frac{1}{2} W_0 \quad (7.11)$$

$$\text{pentru } x = \pm \infty; \quad a = \frac{1}{2}$$

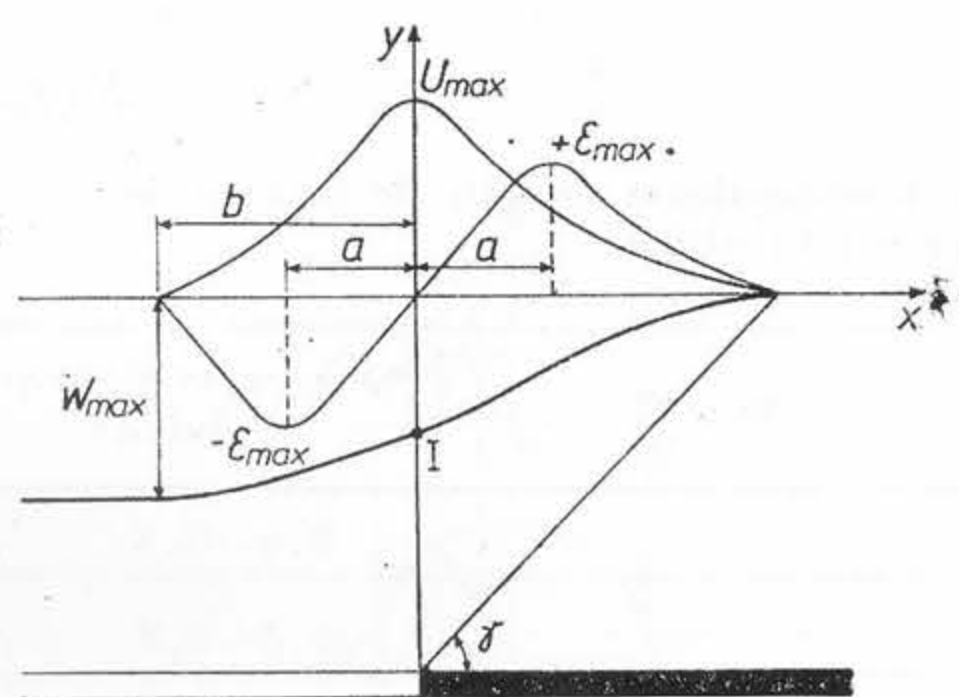


Fig. XVI.142. Calculul albiei de scufundare după King-Wardel.

A doua constantă se determină ținând cont de rezultatele măsurătorilor practice, după care înclinarea este maximă în punctul de inflexiune.

Deci dacă:

$$\left(\frac{dW}{dx} \right)_{max} = \frac{b W_0}{2 H} = \frac{3 W_0}{H} \quad (7.10)$$

Ținând cont de valoarea constantei $a = \frac{1}{2}$, atunci $b = 6$. În final ecuația care definește curba de profil principal are forma

$$W = \frac{W_0}{2} \operatorname{tg} h \frac{6x}{H} \quad (7.11)$$

Scufundarea maximă, W_0 , se calculează cu relația:

$$W_0 = a \cdot m \quad [m] \quad (7.12)$$

în care m este grosimea stratului ce se exploatează, m;

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii în abataj (valorile vor fi date în cadrul teoriilor Knothe-Budryk).

Metoda de calcul S. G. Avershin. Are la bază interpretarea geometrică a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane, obținute din măsurătorile topografice efectuate în bazinele Moscova și Donbas. Autorul se situează cu teoria sa în cazul albiilor de scufundare static-asimetrice. Albiile de scufundare

static-asimetrice sînt caracterizate prin deplasarea punctului de inflexiune a acestora spre spațiul exploatat (fig. XVI. 143). Relațiile de calcul date au la bază o exprimare geometrică a alurii curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor.

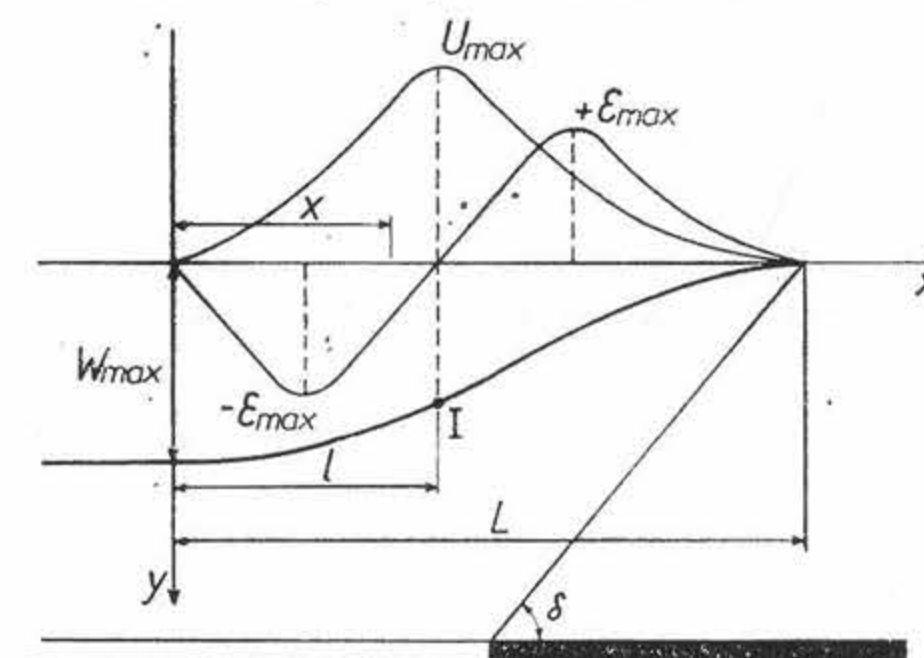


Fig. XVI.143. Profilul albiei de scufundare, după S. G. Avershin.

Pentru determinarea scufundării verticale a unui punct de la suprafața terenului se propune o relație de forma:

$$W(x) = W_{max} \left(1 - \frac{x}{2,13 l} \right)^{4,54} \exp \left(2,13 \frac{x}{l} \right) \quad (7.13)$$

în care: l este distanța de la punctul cu deplasarea verticală maximă pînă la punctul de inflexiune al albiei de scufundare;

x — punctul de la suprafață pentru care se cere calculul deplasărilor verticale;

H — adîncimea de exploatare a stratului;

W_{max} — scufundarea verticală maximă, pentru care se recomandă folosirea relației:

$$W_{max} = \frac{m \cdot a}{a + \sqrt{H}} \quad [m] \quad (7.14)$$

în care: m este grosimea stratului care se exploatează, m;

a — coeficient care reflectă latura fizică a condițiilor de tasare, avînd valori cuprinse între 22 și 25.

Pe baza relației (7.13) și luînd în considerare dependența matematică între curbele de deplasare și deformare, se determină valoarea maximă a curbei înclinării:

$$T_{max} = 0,9 \frac{W_{max}}{l} \quad [mm/m] \quad (7.15)$$

și va apare în punctul de inflexiune al albiei de scufundare.

Valoarea maximă a curbei curbării albiei de scufundare se calculează cu relația:

$$K_{max} = 1,39 \frac{W_{max}}{l^2} \quad [km^{-1}] \quad (7.16)$$

și aceasta apare la distanța $1,5 l$ de la mijlocul albiei de scufundare.

După *Aversin*, pentru strate horizontale și cu înclinare mică, între curba înclinării și curba deplasărilor orizontale există o dependență dată de relația (7.1). Deplasările orizontale maxime se pot atunci calcula cu relația:

$$U_{max} = B(y) T_{max} = B(y) 0,9 \frac{W_{max}}{l} \quad [\text{mm}] \quad (7.17)$$

Ținând seama de relația (7.2), deformațiile specifice orizontale maxime (de compresiune și tracțiune) se determină cu relația:

$$\varepsilon_{max} = B(y) 1,39 \frac{W_{max}}{l^2} \quad [\text{mm/m}] \quad (7.18)$$

în care $B(y)$ este o funcție dependentă de adâncimea de exploatare și reprezintă un parametru care exprimă distanța de la suprafață până la punctul din interiorul masivului de roci care nu suferă deformări, mai precis grosimea pachetului de roci din masiv de la suprafață spre interior, care se deformează fără desprinderea după planele de stratificație.

Pentru condițiile de zăcămint din bazinele miniere Moscova și Donbas, valoarea lui $B(y)$ este cuprinsă între 10–20 m și este funcție de adâncimea de exploatare.

Pentru alte condiții de exploatare, $B(y)$ poate fi calculat cu relația:

$$B(y) = \frac{\frac{dU}{dt}}{\frac{d^2 W}{dx \cdot dt}} \quad (7.19)$$

în care: $\frac{dU}{dt}$ este viteza de variație a deplasărilor orizontale;

$\frac{d^2 W}{dx \cdot dt}$ — viteza de variație a înclinării albiei de scufundare.

Pentru strate horizontale și cu înclinare mică *Aversin* stabilește o relație de legătură între distanța l și L , semilungimea albiei de scufundare (fig. XVI. 143):

$$L = 2,13 l \quad (7.20)$$

Valoarea parametrului l poate fi calculată cu relația generalizată

$$l = \frac{W_{max}}{m} \cdot x \quad [\text{m}] \quad (7.21)$$

sau cu relația:

$$l = 0,7H \quad [\text{m}] \quad (7.22)$$

Teoria lui Martos. Pe baza numeroaselor măsurători topografice efectuate în bazinele miniere din Ungaria și a experiențelor pe modele din materiale echivalente, *Martos* ajunge la concluzia că se situează în cazul albiilor de scufundare static-asimetrice

(fig. XVI. 144). În cazul stratelor orizontale și de înclinare mică, curba de profil principal a albiei de scufundare se poate exprima în mod satisfăcător, pentru nevoile practice, prin curba de probabilitate *Gauss* de forma:

$$W(x) = W_0 \cdot e^{-ax^2} \quad (7.23)$$

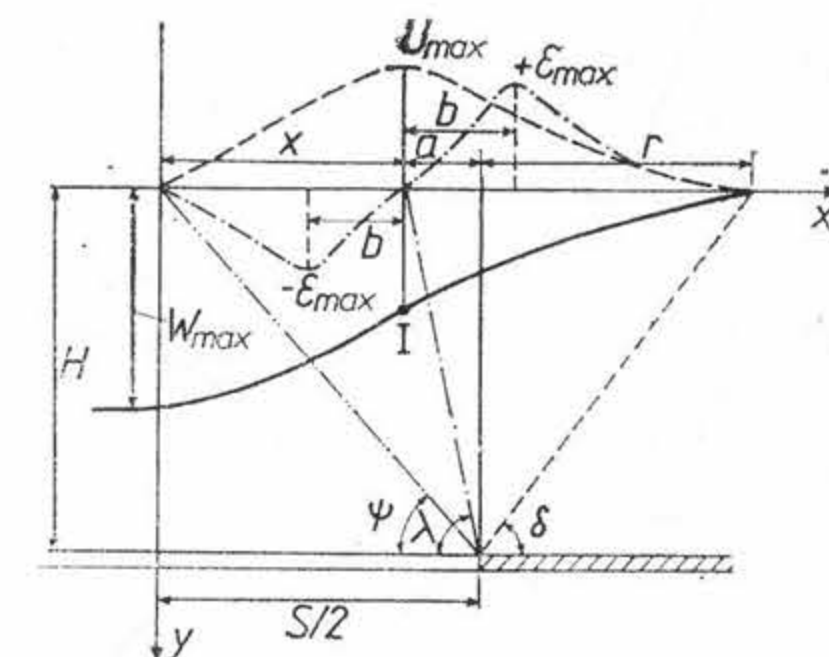


Fig. XVI.144. Profilul albiei de scufundare și calculul parametrilor după *Martos*.

Exponentul a se determină din condiția că punctul de inflexiune al albiei de scufundare să se afle în punctul $x = \pm i$, adică:

$$\left(\frac{d^2 W}{dx^2} \right)_x = \pm 2a W_0 e^{-ax^2} (1 - 2ax^2) \quad (7.24)$$

Punând condiția ca relația (7.24) să fie egală cu zero, se obține:

$$a = \frac{1}{2 i^2} \quad (7.25)$$

În acest caz relația (7.23) are forma finală:

$$W = W_0 \exp. \left(-\frac{x^2}{2 i^2} \right) \quad (7.26)$$

Scufundarea maximă W_0 , propune autorul, să fie determinată prin relația (7.14) dată de *Aversin*.

Din relația (7.26), pe baza dependențelor între curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor și a relațiilor (7.1 și 7.2) pot fi stabiliți și ceilalți parametri ai scufundării.

Teoria Knothe-Budryk. Este prima teorie care a încercat să lege fenomenul de scufundare-tasare a terenurilor sub influența exploatării subterane, de deplasarea și deformarea întregului masiv de roci în mișcarea sa spre spațiul exploatat. Pentru prima dată se reușește să se dea o legătură între mișcarea suprafeței terenului și fenomenul de manifestare a presiunii în abataj. Rezolvarea problemei influenței exploatării subterane asupra suprafeței de la zi în concepția lui *Knothe* are la bază curba de influență (fig. XVI. 145).

Se consideră că punctul A , situat la suprafața terenului, este supus mișcării datorită exploatării unui strat pe o suprafață S , de grosime m și care se află la adâncimea H .

Împărțind suprafața exploatată S , în suprafețe elementare ΔS , acestea vor produce asupra punctului A o scufundare, a cărei componentă verticală W_i va fi dată de o funcție oarecare:

$$\Delta W_i = \Delta S_i g(x_i, y_i) \quad (7.27)$$

unde: $g(x, y)$ este o anumită funcție ce descrie mișcarea punctului A spre spațiul exploatat; x_i, y_i sînt coordonatele punctului în sistemul de axe acceptate.

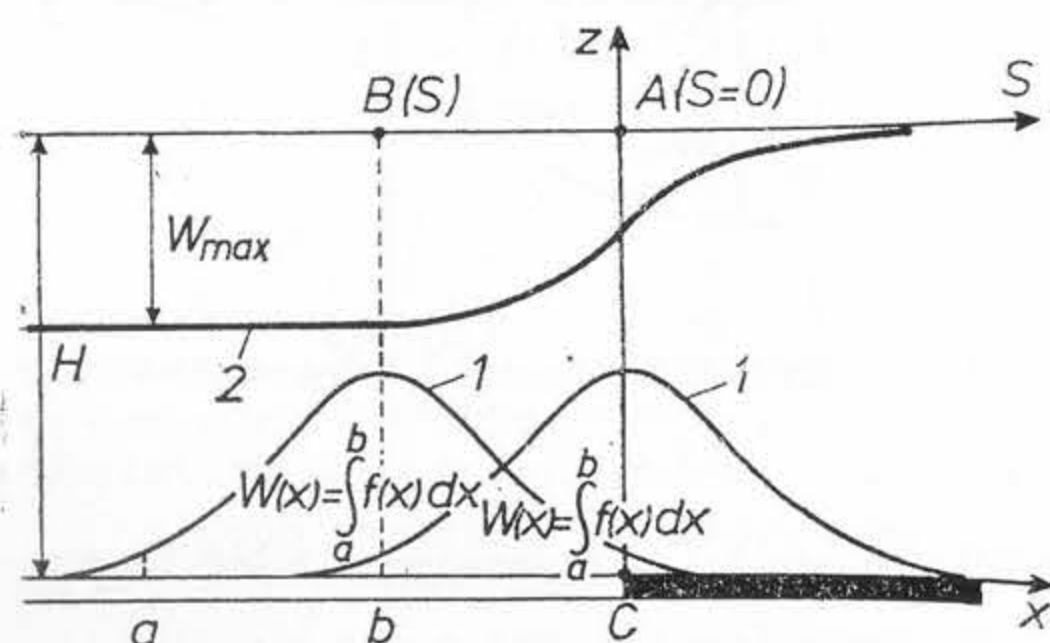


Fig. XVI.145. Curba albiei de scufundare, ca rezultat al curbei de influență, după Knothe-Budryk:

1 — curba de influență; 2 — albia de scufundare.

Pe baza legii superpoziției, scufundarea totală a punctului A , din momentul $t=0$ și pînă la timpul t' , adică pînă în momentul extragerii succesive a suprafețelor elementare S_i pe întreaga suprafață S este dată de:

$$\sum_{i=1}^n g(x_i, y_i) S_i \quad (7.28)$$

Cînd suprafețele elementare S tind către zero, scufundarea totală va fi:

$$W_{max} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) dx \cdot dy \quad (7.29)$$

Tratînd în continuare problema în plan și orientînd abatajul cu lungimea sa infinită, paralelă cu axa y (fig. XVI. 145), analog cu funcția $g(x, y)$ trebuie să existe o funcție $f(x)$ care să descrie mișcarea punctului A ,

Funcția $f(x)$ trebuie să aibă o astfel de proprietate, încît punctul A de pe suprafața terenului să fie supus unei influențe cu atît mai mari, cu cît abatajul se apropie mai mult de proiecția orizontală a punctului A , după care influența spațiului exploatat scade. Dacă abatajul avansează din punctul a în punctul b (fig. XVI. 145), scufundarea punctului va fi:

$$W_i = - \int_a^b f(x) dx \quad (7.30)$$

Funcția $f(x)$ a fost denumită *funcția de influență principală* ce descrie mișcarea unui punct din masivul de roci (implicit de la suprafața terenului) spre spațiul exploatat.

Stratul de cărbune exploatîndu-se pe o suprafață foarte mare în limitele $+\infty, -\infty$, scufundarea verticală maximă a punctului A poate fi dată de relația:

$$W_{max} = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \quad (7.31)$$

Dependența dintre curba de influență și profilul albiei de scufundare. Se consideră că frontul de exploatare a unui strat la adîncimea H se deplasează de la $-\infty$ pînă la o anumită limită, unde se acceptă originea axelor de coordonate (fig. XVI. 145). Abscisa unui punct în sistemul de coordonate adoptat se notează la suprafață prin S , iar în planul stratului prin x . Mișcarea unui punct oarecare B , de coordonată S , de la suprafața terenului, este descrisă de funcția de influență $f(x-s)$, ce prezintă o axă de simetrie în punctul $x=s$. Această curbă se obține prin deplasarea succesivă a curbei descrisă de ecuația $f(x)$, ce corespunde punctului $A(s=0)$ situat deasupra marginii frontului de abataj (7.14). Scufundarea totală a unui punct oarecare de la suprafață, ca efect al exploatării unui strat în limitele de la $x=-\infty$ la $x=0$, conform relației (7.29) va fi:

$$W_k(s) = - \int_{-\infty}^0 f(x-s) dx \quad (7.32)$$

După cum se vede din figură,

$$W_k(s) = - \int_{-s}^{\infty} f(x) dx \quad (7.33)$$

Ultima relație exprimă legătura dintre *curba de influență* și mișcarea unui punct de la suprafață situat deasupra marginii frontului de abataj, avînd coordonatele $s=0$.

Ecuația profilului albiei de scufundare va avea în acest caz următoarea formă:

$$F(x) = H - \int_x^{\infty} f(\lambda) d\lambda \quad (7.34)$$

Raportînd ecuația profilului albiei de scufundare la sistemul de axe O, x , în planul stratului putem scrie:

$$F(x) = - \int_x^{\infty} f(\lambda) d\lambda \quad (7.35)$$

Integrînd expresia (7.35) se obține:

$$F(x) = - f(x) \quad (7.36)$$

De unde rezultă:

„Curba de influență corespunde punctului situat deasupra marginii frontului de exploatare și reprezintă derivata ecuației albiei de scufundare, ultima formată, denumită *albie de scufundare statică simetrică*”¹⁾.

Având la bază suportul teoretic prezentat, și pe baza analizei unei multitudini de profile ale albiei de scufundare obținute din măsurători topografice în bazinul Sileziei, autorii au ajuns la concluzia că linia profilului albiei de scufundare poate fi descrisă de ecuația integrală a funcției de probabilitate Gauss, de forma:

$$f(x) = W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \exp(-h^2 x^2) \quad (7.37)$$

Ecuația (7.35) permite în continuare să se analizeze profilul albiei de scufundare static-simetrică. Înlocuind curba de influență printr-un triunghi, se observă că suprafața acestuia este egală cu scufundarea maximă W_{max} , iar înălțimea are valoarea maximului curbei de influență (fig. XVI. 146).

$$f(0) = W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \quad (6.37)$$

Această înlocuire a curbei de influență, cu un triunghi, limitează mișcarea suprafeței terenului până la o anumită distanță r , egală cu jumătatea bazei triunghiului.

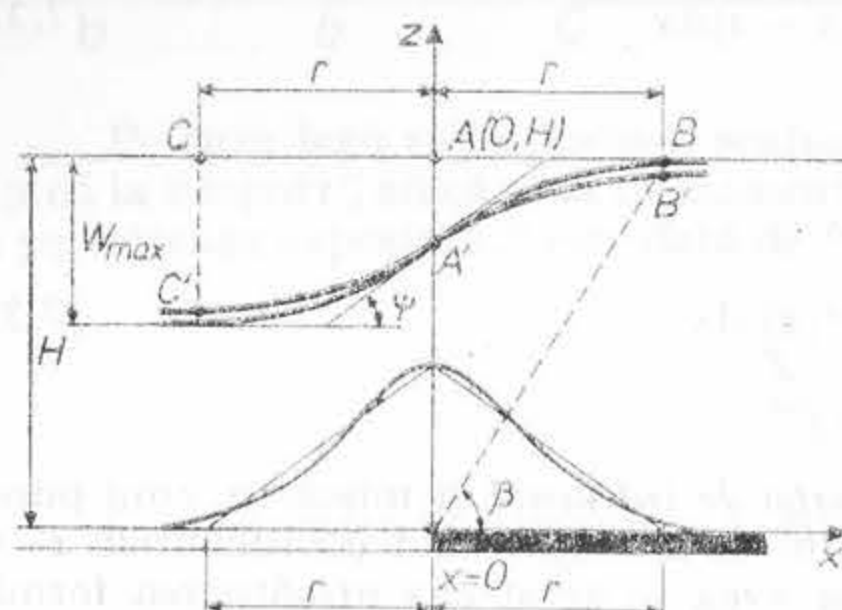


Fig. XVI.146. Linia profilului albiei de scufundare dedusă pe baza triunghiului de influență.

În această situație, punctul B situat la dreapta marginii frontului de abataj va avea scufundarea verticală nulă, iar punctul C, simetric situat la stînga, va avea scufundarea verticală egală cu W_{max} (fig. XVI. 146). Scufundarea verticală a unui punct în intervalul C, B se calculează cu relația:

$$W_k = - \int_r^\infty W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 x^2} dx \quad (7.39)$$

1) Pentru prima dată în literatura de specialitate, prin metodologia de rezolvare dată, Knothe a introdus noțiunea de *albie de scufundare statică-simetrică*. Albia de scufundare statică-simetrică este acea albie în care cele două ramuri în raport cu marginea frontului de abataj au o dezvoltare egală, iar scufundarea în punctul de inflexiune reprezintă jumătate din scufundarea maximă. De la introducerea acestor noțiuni se consideră începutul rezolvărilor riguroase matematice a problemei de scufundare a terenului supus influenței exploatare subterane, date de diferiți autori.

Valoarea parametrului h se determină din condiția că suprafața triunghiului de influență este egală cu scufundarea verticală, W_{max} .

Ținând seama de relația (7.37), suprafața triunghiului de influență va fi:

$$\frac{1}{2} 2 r W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} = W_{max} \quad (7.40)$$

de unde:

$$r = \frac{\sqrt{\pi}}{h} \text{ și } h = \frac{\sqrt{\pi}}{r} \quad (7.41)$$

Introducând în relația (7.37) valoarea parametrilor h , ecuația curbei albiei de scufundare devine:

$$f(x) = \frac{W_{max}}{r} \exp\left(-\frac{\pi}{r^2} x^2\right) \quad (7.42)$$

unde: r este denumit *parametrul razei principale de influență a deplasării și deformării suprafeței* și se calculează cu relația:

$$r = \frac{H}{\tan \beta_s}, \quad r = \frac{H}{\tan \gamma_s} \text{ sau } r = \frac{H}{\tan \delta_s} \quad (7.43)$$

în care: $\beta_s, \gamma_s, \delta_s$ sînt valorile unghiurilor de scufundare¹⁾.

Pe baza celor de mai sus se poate scrie în final ecuația finală a curbei albiei de scufundare rezultată ca efect al exploatare unui strat în limitele de la $x = -\infty$ la $x = 0$ în forma:

$$F(x) = - \frac{W_{max}}{r} \int_x^\infty e^{-\frac{\pi}{r^2} \lambda^2} d\lambda \quad (7.44)$$

Relații de calcul a parametrilor scufundării conform teoriei Knothe – Budryk. Avînd la bază suportul teoretic prezentat, ecuația albiei de scufundare dată de relația (7.44) și dependența matematică ce există între curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenului, autorii au stabilit relații de calcul a parametrilor scufundării, pentru un punct, x aflat la suprafața terenului.

— scufundarea verticală într-un punct oarecare, $W(x)$:

$$W(x) = \frac{W_{max}}{r} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{\pi \lambda^2}{r^2}\right) d\lambda \quad (7.45)$$

1) Pentru bazinul Sileziei inferioare din Polonia se consideră că unghiurile de scufundare, transversale pe zăcămint și după direcția zăcămintului, sînt egale, adică $\beta_s = \gamma_s = \delta_s$.

— înclinarea curbei scufundării verticale,

$$T(x) = \frac{W_{max}}{r} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \quad (7.46)$$

— curbura albiei de scufundare

$$K(x) = -\frac{2\pi W_{max}}{r^3} x \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \quad (7.47)$$

— curba deplasărilor orizontale;

$$U(x) = 0,4 W_{max} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \quad (7.48)$$

— curba deformațiilor specifice orizontale,

$$\varepsilon(x) = \frac{2\pi}{r^2} U_{max} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \quad (7.49)$$

Tabelul XVI.40

Valorile integralei și funcției exponențiale din teoria Knothe—Budryk

x	$\frac{1}{r} \int_x^\infty e^{-\frac{x^2}{r^2}} dx$	$e^{-\frac{\pi x^2}{r^2}}$
-1,0 r	0,9939	0,0432
-0,8 r	0,9775	0,1340
-0,6 r	0,9337	0,3230
-0,4 r	0,8420	0,6065
-0,2 r	0,6920	0,8869
± 0	0,5000	1,00
0,2 r	0,3081	0,8869
0,4 r	0,1581	0,6065
0,6 r	0,0664	0,3230
0,8 r	0,0225	0,1340
1,0 r	0,0061	0,0432

Valoarea maximă a acestor parametrii, conform relațiilor (7.45), (7.49) și ținând seama de relația (7.37), poate fi dedusă din expresiile:

— scufundarea maximă

$$W_{max} = a \cdot m \quad [\text{mm sau m}] \quad (7.50)$$

— înclinarea maximă,

$$T_{max} = \frac{W_{max}}{H} \operatorname{tg} \beta \quad [\text{mm/m}] \quad (7.51)$$

— deplasarea orizontală maximă

$$U_{max} = 0,4 W_{max} \quad [\text{mm}] \quad (7.52)$$

— deformarea orizontală maximă

$$\varepsilon_{max} = \pm 0,6 \frac{W_{max}}{H} \operatorname{tg} \beta \quad [\text{mm/m}] \quad (7.53)$$

— curbura maximă a albiei de scufundare

$$K_{max} = \pm 1,52 \frac{W_{max}}{H^2} \operatorname{tg}^2 \beta \quad (7.54)$$

În care: m este grosimea stratului ce se exploatează;

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii în abataj, avind valorile din tabelul XVI. 39.

Dacă se impune să se calculeze scufundarea unui punct carecare, x , supus influenței exploatării subterane, pentru ușurința calculelor, în tabelul XVI. 40 sînt prezentate valorile integralei și funcției exponențiale ce însoțesc parametrii dați de relațiile (7.50) și (7.54).

În domeniul industriei extractive

AU MAI APĂRUT ÎN LIBRĂRII :

1. LUCIA TOCACI, M. GURAN, LIDIA MIHĂILESCU, P. ILIE,
N. GOLCEA
Mineralurgie, vol. I
2. S. TAT, M. ZAPOROJAN, K. FISSGUS
Explozivi și tehnica impușcării în industrie
3. A. SIMIONESCU, I. DIJMĂRESCU
Organizarea și conducerea activităților miniere
4. I. MARIAN
Mecanizarea transportului minier în subteran
5. L. PAVELESCU, I. ENE
Mineralogia și geologia substanțelor radioactive
6. I. BERBELEAC
Zăcămintele de aur

— VOR APĂREA —

1. GH. DINCA R. CATILINA, T. BURTIC
Protecția împotriva radiațiilor nucleare la cercetarea, extracția și prelucrarea substanțelor minerale utile
2. V. ȘERBAN, GUȚ T.
Bismutul, arseniul și stibiul
3. D. FODOR R. SCHWEIGHOFER
Valorificarea complexă a rocilor ornamentale

4. A. TODORESCU

Reologia rocilor cu aplicații în minerit

5. E. HUIDU, I. JESCU

Cartea minerului de la exploatare la zi

6. M. GEORGESCU

Optimizarea metodelor de exploatare a zăcămintelor de minereuri

7. S. PAULIUC, C. DINU

Geologie structurală

8. O. CLICHICI, SL. STOICI

Cercetarea geologică a substanțelor minerale utile solide
Îndrumător practic

9. D. GIUȘCĂ

Mineralogie structurală

10. M. MURGU

Evaluarea geologică și industrială a zăcămintelor minerale

11. I. PETRESCU (coordonator)

Geologia zăcămintelor de cărbuni, vol. I

12. V. BRANA, C. AVRAMESCU, I. CĂLUGĂRU

Substanțe minerale nemetalifere

13. A. POPA (coordonator)

Manualul inginerului de mine, vol. III

Din cuprinsul

MANUALULUI INGINERULUI DE MINE, Vol. III

Procedee de extragere ; Explozivi minieri ; Săparea și susținerea lucrărilor miniere ; Exploatarea zăcămintelor prin lucrări miniere la zi.

